

Vysoká škola báňská
Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní



Analýza olejem těsněných lamelových vývěv

Analysis of Oil Sealed Rotary Vane Pumps

Student:

Bc. Jakub Vališ

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Blata

Ostrava 2011

Poděkování

Děkuji společnosti Edwards, s.r.o. za to, že mi umožnila provést u nich tuto diplomovou práci se zaměřením na diagnostiku vakuových pump respektive vývěvy typu RV 12 a poskytla nám jako dar dva typy vývěv pro měřicí účely. Dále bych chtěl poděkovat panu Janu Ferebauerovi za poskytnutí firemních materiálů a informací týkajících se dané problematiky, kterou jsou tyto vývěvy doprovázeny. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Blatovi za provedení měření, konzultace a připomínky k dané problematice.

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě23. 5. 2011.....

.....Janek Vališ.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.
- jsem se zavázal společnosti Edwards, s.r.o, že jimi poskytnuté informace budou použity pouze pro studijní účely a zpracování diplomové práce a nebudou sděleny jiným osobám jakoukoliv formou.

V Ostravě 23.5.2011

..... Jan Valis^v
podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VALIŠ, J. Analýza olejem těsněných lamelových vývěv. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, 65 s. Diplomová práce, vedoucí Blata, J.

Cílem této diplomové práce je analyzovat zdroje vibrací a hluku při použití rotačních lamelových vývěv. První část je zaměřena na obecné principy vakua, také popisuje jednotlivé typy vývěv a jejich rozdělení podle jejich mechanismu, funkce a použití. V druhé části je představena společnost Edwards - výrobce vývěv, spolu se svými produkty. Produkty Edwards jsou popsány a porovnány s vývěvami konkurence. Práce také zmiňuje možné vady způsobující hluk a vibrace na měřené vývěvě spolu s jejich možnými vlivy na lidský organismus. Závěrečná část shrnuje naše měření a porovnává je s teorií.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

VALIŠ, J. Analysis of oil sealed rotary vane pump. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB-Technical University of Ostrava, 2011, 65 p. Diploma thesis, supervisor Blata, J.

The goal of this thesis is to analyze vibration and noise sources regarding usage of rotary vane pumps. The first part is focused on vacuum's general principles, it also describes individual pump types and their categorization according to their mechanism, function and usage. In the second part, a pump manufacturer company – Edwards and their products are introduced. Edwards' products are described and compared along with other pumps. The thesis also mentions possible mechanical imperfections leading to noise and vibrations on an actual measured pump as well as their effects on human organism. The final part evaluates our measurements and confronts them with theory.

Obsah:

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
1 ÚVOD	9
1.1. Teorie vakua:.....	9
1.2. Jednotky:	10
1.3. Využití vakua:	10
2 ROZDĚLENÍ VÝVĚV	11
2.1. Vývěvy adsorpční:.....	12
2.1.1. Kryovývěvy:	12
2.1.1. Getrová vývěva:.....	13
2.2. Vývěvy mechanické:	13
2.2.1. Vývěvy pístové:	13
2.2.2. Vývěvy rotační:	15
2.3. Hybnostní vývěvy	20
3 EDWARDS A JEHO KONKURENCE	24
3.1. Představení společnosti Edwards:	24
3.2. Konkurence společnosti:	25
3.3. Požadavky zákazníků na vývěvy:	26
3.4. Porovnání vývěvy RV s konkurencí:.....	27
3.4.1. Konkurence RV	28
4 VLIV VIBRACÍ A HLUKU NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA.....	29
4.1. Vliv vibrací na lidský organismus:	30
4.2. Vliv hluku na lidský organismus:	31
4.3. Měření hluku ve firmě Edwards:	34
5 POPIS A KONSTRUKCE MĚŘENÉ VÝVĚVY RV 12	35
6 OČEKÁVANÉ ZÁVADY VÝVĚVY A JEJICH MOŽNÝ PROJEV VE VIBRAČNÍM SPEKTRU	37
6.1. Nevyváženost:	38
6.2. Špatné ustavení elektromotoru vůči vývěvě:	38
6.3. Závady ložisek:	39
6.4. Elektricky vybuzené vibrace:.....	41
7 MĚŘENÍ VIBRACÍ NA VÝVĚVĚ RV 12	42
7.1. Měřicí přístroje a jejich vybavení:	44

8	MĚŘENÍ HLUKU NA VÝVĚVĚ RV 12	45
8.1.	Měřicí přístroje:	46
9	VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	46
9.1.	Výsledky naměřených hodnot ve vibračních spektrech:	47
9.2.	Výsledky z měření hluku vývěvy:	51
9.2.1.	Použité vzorce pro výpočet jednotlivých hodnot:	52
10	ZÁVĚR A SHODNOCENÍ.....	56
11	POUŽITÁ LITERATURA	58
12	PŘÍLOHY	59

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka:	Význam:
RV	Rotační lamelové vývěvy (Rotary Vane Pumps)
MHZP	Míra hodnoty pro zákazníka
RBPF	Frekvence průchodu rotorových tyčí (Rotor Bar Pass Frequency)
RMS	Efektivní hodnota (Root Mean Square)

1 Úvod

V následujících stránkách se Vás budu snažit seznámit s problematikou a obecnými pojmy vakua, jednotkami a rozdělením vývěv, dle principu činnosti a konstrukce. Dalším bodem bude představení už samotné firmy Edwards, s.r.o., která se vakuovou technikou zabývá. Budou zde uvedeni také někteří konkurenti firmy Edwards, co se vakuové techniky týče a porovnány jednotlivé parametry vývěv různých konkurence schopných firem. Dále se zmíním o vlivu hluku a vibrací na lidský organismus, protože hluk a vibrace jsou hlavním problémem všech ať už mechanických nebo rotačních strojů. V dalších několika odstavcích bude provedeno i popsání jednotlivých částí vývěvy, které se tato práce týká, její princip činnosti a konstrukce. Závěr už bude patřit měření vibrací na předem daných vývěvách, naměřeným hodnotám a jejich vyhodnocení ve vibračních spektrech.

1.1. Teorie vakua:

Pojmem vakuum (z lat. *Vacuus* - prázdný) je označován prostor, ve kterém je tlak plynu nižší než normální atmosférický tlak okolí. Absolutním vakuem by byla označena nulová hodnota tlaku, což není možné. Vakuum ve skutečnosti není prázdné. Avšak lidé mají zaryto v paměti, že pokud se mluví o vakuum (tedy o tlaku nižším než je atmosférický), označuje se tak tlak za záporný. To je ovšem pouze domněnka. Záporný tlak neexistuje a hodnoty vakua se blíží pouze nule. Nulové hodnoty vakua bychom dosáhli, pokud bychom měli absolutně prázdný prostor, v němž nejsou žádné částice. Je zjištěno, že dokonalé vakuum není změřeno ani ve vesmíru.

Z praktického hlediska se vakuum rozděluje do několika skupin. Tyto skupiny jsou ovšem pouze orientačního charakteru [1]:

- 1) nízké vakuum 10^{-1} až 10^{-2} Pa
- 2) vysoké vakuum 10^{-2} až 10^{-7} Pa
- 3) ultravysoké vakuum 10^{-7} až 10^{-10} Pa
- 4) extrémě vysoké vakuum $< 10^{-10}$ Pa

Pro zajímavost jen zmíním, že nejvyšší dosažená hodnota vakua v laboratorních podmínkách na zemi se přiblížila hodnotě 10^{-11} Pa, na měsíci je hodnota tlaku kolem 10^{-9} Pa a ve vesmíru je hodnota tlaku okolo 10^{-22} Pa [1].

1.2. Jednotky:

Základní jednotkou tlaku je pascal [Pa]. Velikost jednoho pascalu je tlak, kterým působí síla 1 newtonu na plochu s obsahem jednoho čtverečního metru. Existuje ovšem celá řada dalších jednotek, kterými lze tlak vyjádřit. Ve spojení s vakuem se často setkáváme s jednotkami *mbar* nebo *torr*.

Torr je historickou jednotkou tlaku a nepatří do soustavy SI. Jeden torr je takový tlak, který je roven hydrostatickému tlaku vyvolanému jedením milimetrem sloupce rtuti ($1 \text{ Torr} = 1 \text{ mmHg}$).

1 Torr odpovídá 133.3 Pa ,

1 Pa odpovídá $7.5 \times 10^{-3} \text{ torr}$.

mbar – jednotka odvozená od jednotky bar, je vedlejší jednotkou tlaku v soustavě SI

1 millibar odpovídá 100 Pa

1 millibar odpovídá 0.75 Torr

Hodnotu tlaku lze vyjádřit celou řadou dalších jednotek, které jsou typické pro dané použití a specifikaci.

Tab 1. Konverze různých jednotek tlaku [1]:

	Pa	torr	atm	bar	psi
Pa	1	$7,5006 \cdot 10^{-3}$	$9,8692 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1,4504 \cdot 10^{-4}$
torr	133,322	1	$1,3158 \cdot 10^{-3}$	$1,3332 \cdot 10^{-3}$	$1,9337 \cdot 10^{-2}$
atm	$1,01325 \cdot 10^5$	760	1	1,01325	14,69595
bar	$1 \cdot 10^5$	750,06	0,98692	1	14,5038
psi	6894,76	51,715	0,068046	0,068948	1

1.3. Využití vakua:

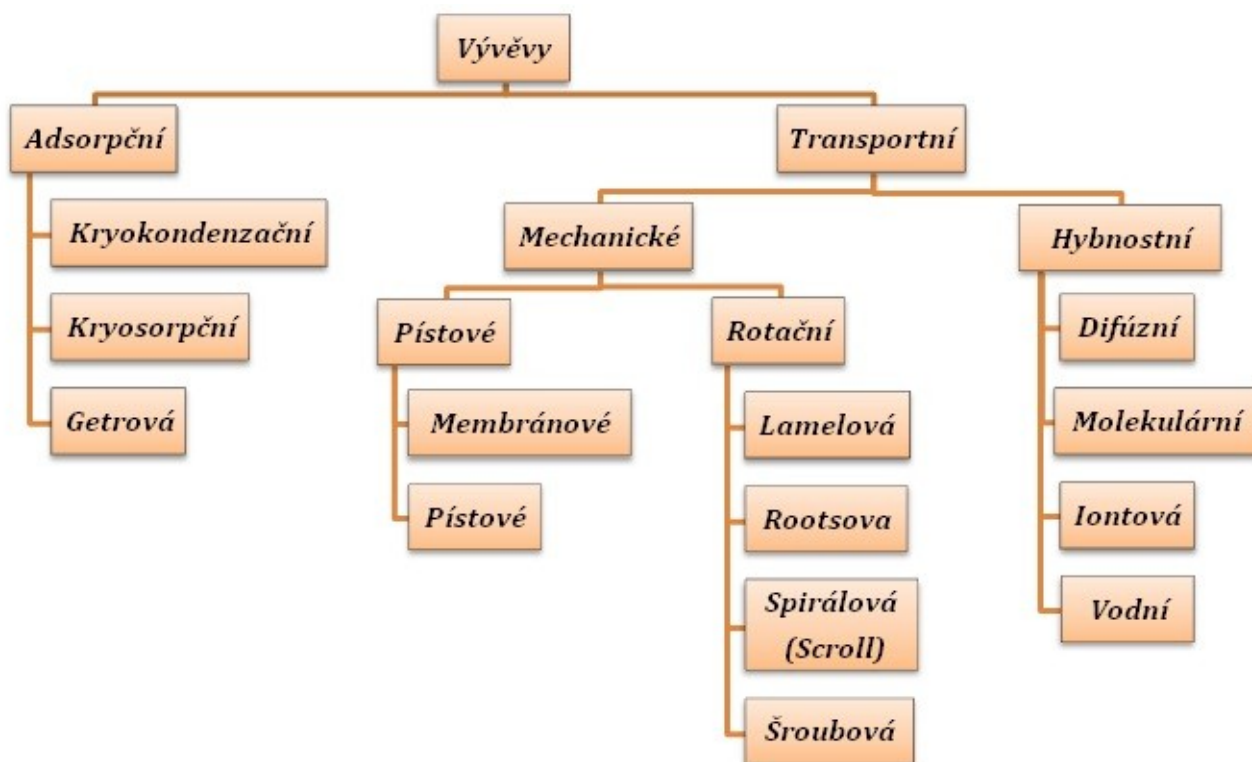
Vakuum je dnes využíváno snad opravdu všude. Častokrát si ani neuvědomujeme, že se s využitím vakua setkáváme téměř každodenně. Většina lidí si myslí, že když se řekne vakuum, tak je to pojem, který se využívá v laboratořích, výzkumu a jinde. Ale s tímto pojmem se setkáváme i v různých odvětvích a to např. [2]:

- Elektronika
 - výroba elektronek a obrazovek, rezistorů, kondenzátorů, integrovaných obvodů.
- Nanášení tenkých tištěných spojů, evakuace, gelování, napařování a naprašování vrstev atd.

- Potravinářství
 - Vakuová sterilace, konzervace, balení jídla, dále výroba např. instantní polévky, instantní káva, sušené mléko atd.
- Hutní průmysl
 - Vakuová metalurgie (vakuové tavení, spékání, odlévání...)
- Strojírenství
 - Mechanické manipulátory, nanášení tenkých vrstev a povlaků (skla, čočky...) atd.
- Laboratorní technika
 - Zde se využívají k vakuovým destilacím a filtracím, zahušťování/kondenzaci vodných roztoků, dále také u elektronových mikroskopů, hmotnostních spektrometrů, urychlovačů částic atd.

Prostředkem k získávání vakua nám slouží tzv. vývěva. Vývěv máme několik typů, z nichž některé si zde představíme, popíšeme jejich princip a ukážeme, jak vypadají.

2 Rozdělení vývěv



Obr. 1. Rozdělení vývěv

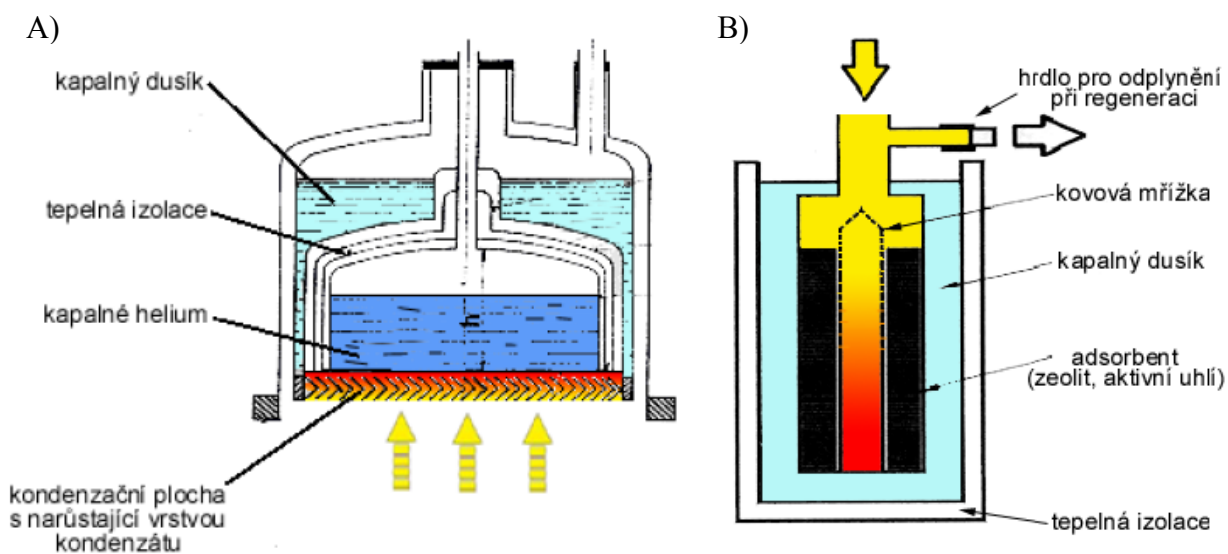
2.1. Vývěvy adsorpční:

Adsorpční vývěvy mají tu odlišnost, že odsávaný plyn neopouští vývěvu, ale váže se uvnitř vyčerpaného prostoru. Tyto vývěvy jsou konstrukčně jednoduché, neobsahují žádné rychle se otáčející součásti, mají poměrně velkou čerpací rychlost a dosahují vysokého stupně vakua (i nižší než 10^{-10} Pa), proto musíme vždy před použitím těchto typů vývěv použít např. vývěvy mechanické z toho důvodu, že potřebujeme pro tyto vývěvy vytvořit nižší vakuum, aby došlo k dosažení požadovaného vakua vývěvou adsorpční.

2.1.1. Kryovývěvy:

Tento typ vývěv je používán pro dosažení čistého vakua při vhodném výběru čerpací látky až ultravakua pomocí nízkých teplot. Nízká teplota je dosahována pomocí kapalného dusíku případně průtokem kapalného helia.

Kryokondenzační vývěva je tvořena dvěma nádobami, které jsou izolovány a obsahují kapalný dusík a kapalně helium. Vnější nádoba, která je naplněna kapalným dusíkem, tepelně izoluje nádobu vnitřní, která je plněna kapalným heliem. Tato vnitřní nádoba s kapalným heliem je spojena s kondenzační plochou, zasahující do vakuovaného prostoru. Tím, že molekuly zbytkového plynu na této ploše kondenzují, tlak ve vývěvě klesá. Molekuly však vytváří na ploše vrstvu tuhého kondenzátu, který má špatnou tepelnou vodivost a účinnost vývěvy se tudíž s postupujícím čerpacím cyklem snižuje. Po skončení se vývěva odstaví a ohřeje se. Tento postup má za následek uvolnění kondenzační plochy tzv. desorpce [1].

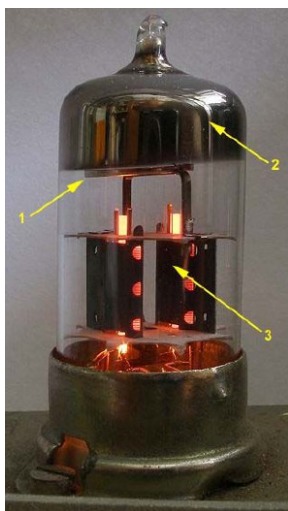


Obr. 2. Schéma: A) kryokondenzační vývěvy a B) kryosorpční vývěvy [1]

Abychom dosáhli většího účinku, používá se k chlazení místo hladké kondenzační plochy materiál, který je schopný absorbovat plyn ve svých dutinách. Tímto materiálem je např. zeolit nebo aktivní uhlí. Vývěvy, které využívají těchto materiálů, nazýváme jako vývěvy kryosorpční.

2.1.1. Getrová vývěva:

Getr je látka, která se přidává zejména do elektronek a osvětlovacích trubic proto, aby pohltila zbytků plynů, jež nebyly vývěvou zcela odsáty. Tato látka tak zlepšuje vakuum nebo čistotu plynu v evakuovaném prostoru. Getrovací látka se vlivem indukčního ohřevu odpaří a pohltí zbytky plynů, které nestačila vývěva odsát. Getrovací látka bývá obvykle baryum, hliník, hořčík, vápník nebo sodík. Getrové páry jsou v činnosti jen několik okamžiků a pak se usadí v tuhém skupenství jako tzv. getrové zrcátko [1].



Obr. 3. Dvojitá trioda v provozu: 1...kroužek s getrovací látkou (Ba) 2...getrové zrcátko, 3...elektrónka. [1]

2.2. Vývěvy mechanické:

2.2.1. Vývěvy pístové:

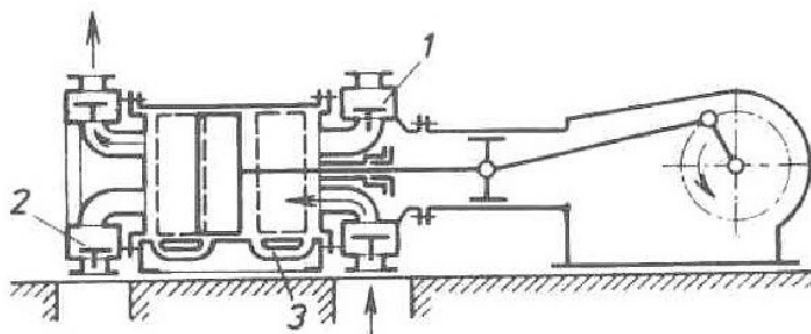
Konstrukčně můžeme dnes rozdělit pístové vývěvy do dvou skupin a to jak s klasickými písty, tak i s použitím membrány místo pístu.

Pístové vývěvy:

Pístové vývěvy jsou svou konstrukčně jedny z nejstarších, čerpání plynu je dosaženo přímočarým vratným pohybem, který koná píst ve válci.

Jedním z hlavních problémů pístových vývěv jsou vstupní a výstupní ventily, které bývají zpravidla samočinné (někdy pomocí šoupátkového rozvodu) a poměrně velký nevyčerpatelný prostor (prostor kolem ventilů). Proto se většinou pístové vývěvy konstruují několikastupňové, z důvodu větší účinnosti čerpání a vytvoření vyššího stupně vakua.

Výroba pístů a válců je prováděna v nejmenších možných tolerancích a je na ně nanášen speciální materiál např. polytetrafluorethylen, který umožňuje pracovat vývěvě jako suché, bez nutnosti mazání [1].

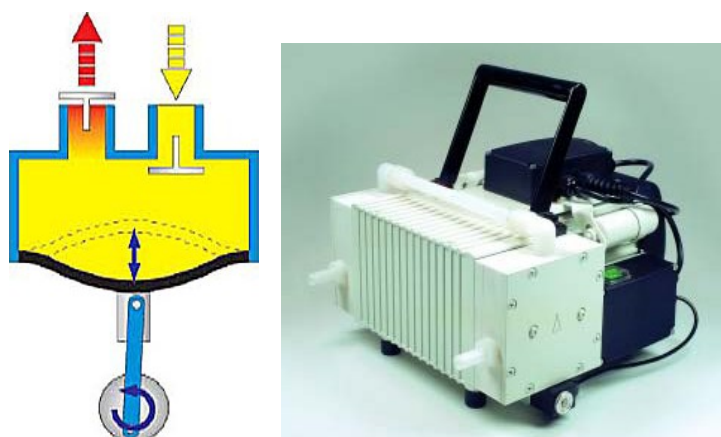


Obr. 4. Pístová vývěva: 1- výtláčny ventil, 2- sací ventil, 3- vyrovnávací ventil [3]

Membránové vývěvy:

Je moderní variantou pístové vývěvy, která je velmi rozšířena v laboratořích a provozech kde je potřeba dosahovat nízkého vakua (cca 10^2 Pa) a není zde také vyžadován příliš velký čerpací výkon. Mezní tlak je limitován tlakem, kdy dochází ještě k otevření vstupního ventilu do vývěvy. Membránové vývěvy jsou často využívány pro vytvoření tzv. předvakua např. při spojení membránové a Rootsovy vývěvy. Je to používáno z důvodu, že některé z vývěv nejsou schopny pracovat už od atmosférického tlaku. Pokud je membrána vyrobena z chemicky stálého materiálu, jako je např. teflon, lze použít tyto vývěvy i pro čerpání agresivních nebo korozivních plynů [1].

Tak jako i u pístových vývěv se mohou membránové zapojovat jak do série tak i paralelně. Sériové zapojení slouží pro dosažení nižšího mezního tlaku, kdežto paralelně pro zvýšení čerpací rychlosti. Nevýhodou je opotřebení ventilů a membrány a naopak výhodou je nízká cena zařízení.

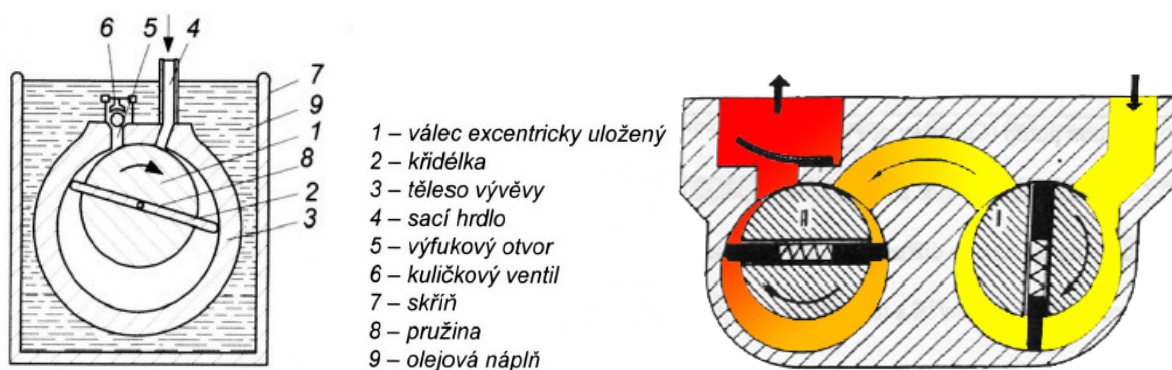


Obr. 5. Schéma membránové vývěvy, fotografie dvoukomorové membránové vývěvy [1]

2.2.2. Vývěvy rotační:

Lamelové vývěvy

Nejpoužívanějším typem vývěv jak v laboratořích, tak i v praxi jsou vývěvy lamelové rotační. Funkčnost těchto vývěv zajišťuje excentricky uložený rotor, do kterého jsou volně usazeny lopatky.



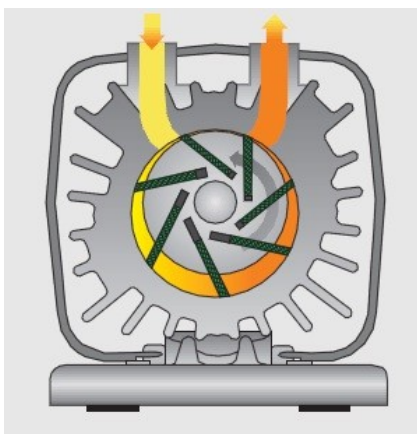
Obr. 6. Schéma rotační lopatkové vývěvy a schéma dvojstupňové rotační lopatkové vývěvy [1], [2]

Pokud se bavíme o rotačních vývěvách olejových, tak náplní těchto vývěv je olej, který má za funkci mazání lopatek, utěsnění prostoru mezi lopatkami a statorem, zajišťuje také přenos tepla, které vzniká při stlačování plynu. Dále má také antikorozi vlastnosti, protože dohází k kompresi čerpaného plynu a některé látky jako vodní páry se rozpustí v oleji a znehodnotí ho. Proto se používají speciální oleje a tam kde je to nežádoucí se používá pomocný ventil tzv. gas ballast. Tímto ventilem přivedeme do komory suchý vzduch o atmosférickém tlaku a tím znemožníme hromadění par a kondenzátu, avšak snížíme tím

účinnost – mezního tlaku. Mezní tlak se u těchto vývěv pohybuje řádově v desetinách a setinách pascalů, u vývěv s gas ballastem tlak stoupá až na jednotky pascalů.

Výhodou těchto vývěv je poměrně vysoká čerpací rychlost. Dají se také řadit do série, kdy dochází ke snížení tlaku až o dva řády. Výhodou je také kontinuita čerpání. Naopak nevýhodou je, že může dojít k znečištění vakua, kdy uniká do pracovního prostoru olej. Pokud jsme rozhodnutí použít tuto vývěvu v laboratoři, musíme si dát pozor na to, aby nedošlo k vniknutí organických nečistot, nebo nějakých korozivních látek, protože by mohlo dojít k úplnému zničení.

U rotačních vývěv se můžeme také setkat s téměř stejnou konstrukčně řešenou vývěvou jako je olejová, avšak olejovou náplň nemá a je suchá. Rozdílem je, že tato vývěva má více lopatek v rotoru, které jsou vyrobeny ze speciálního materiálu. Tím, že není použita olejová náplň, dochází k velkému opotřebování lopatek, což má za následek jejich častou výměnu.

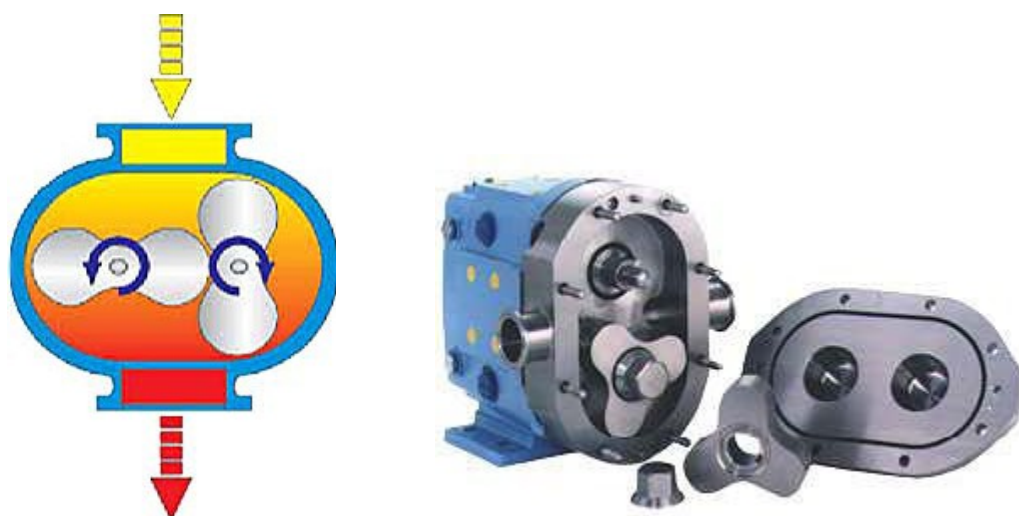


Obr. 7. Schéma suché lamelové vývěvy Busch [15]

Rootsovy vývěvy

S Rootsovým principem se můžeme setkat i u kompresorů a čerpadel, které jsou veřejnosti asi více známy. Jedná se především o dmychadla nebo zubové kompresory.

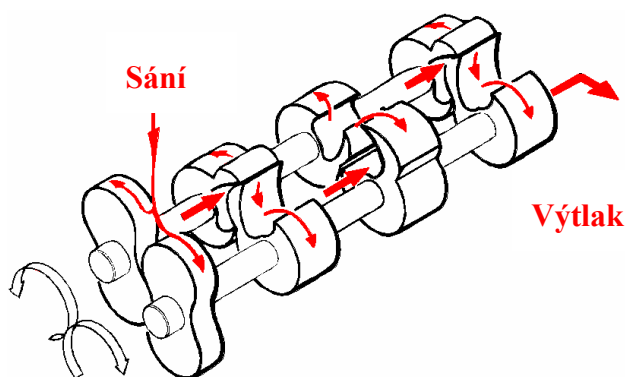
Princip je stejný, dva rotory se proti sobě otáčejí v pracovním prostoru rychlostí až několik tisíc otáček za minutu. Jak sání, tak i výtlak jsou přímo mezi osami rotorů, polohou rotorů se vytváří prostory, které jsou spojené buď se sáním, nebo s výtlakem nebo jsou odděleny a mezerou mezi tělesem a rotory se plyn dostává k výtlaku.



Obr. 8. Princip činnosti Rootsovy vývěvy, fotografie Rootsovy (Lobeho) vývěvy [1]

Rotory musí být velmi přesně opracovány, protože šířka štěrbin mezi statorem a rotory musí být alespoň 10^{-4} m, proto mohou pracovat ve velmi vysokých otáčkách. Nevýhodou těchto vývěv je, že nejsou schopny pracovat od atmosférického tlaku, ale je třeba vytvořit nejprve předvakuum pro jejich činnost. U vývěv dochází také k velkému kompresnímu teplu, které u nich vzniká, a proto se stal jejich součástí chladič. Tyto vývěvy jsou velmi robustní (i několik tun), ale hlavní výhodou je jejich vysoká čerpací rychlost (desítky tisíc l/min), spolehlivost, jednoduchá údržba a obsluha [1].

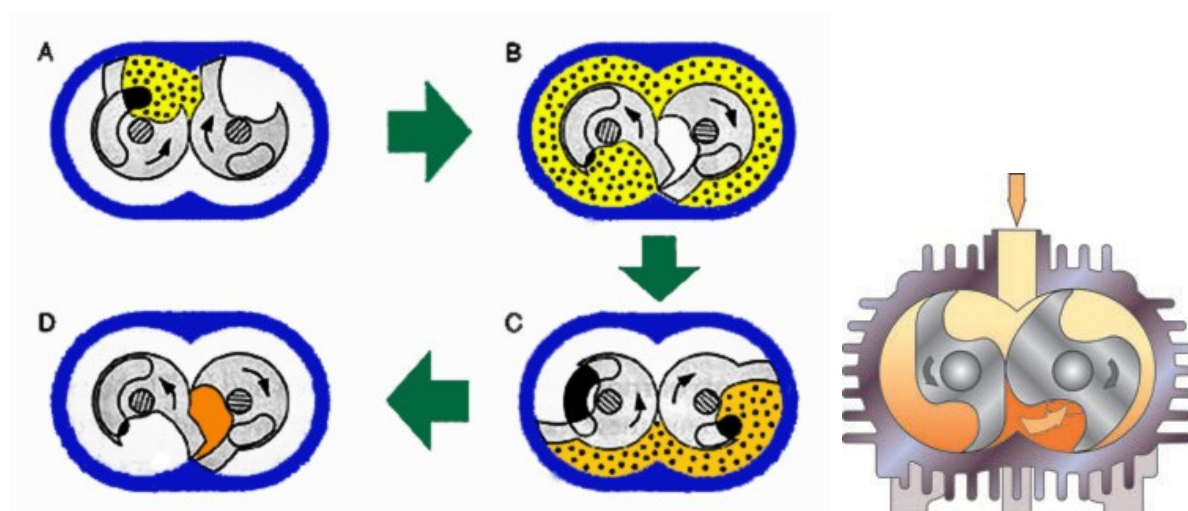
Tak jako i u předchozích vývěv je lze zapojovat sériově i paralelně a použité rotory mohou mít tvar piškotu, hříbu, šroubovice nebo závitnice. V dnešní době se můžeme setkat také s variantou Rootsovi vývěvy s tzv. vývěvou claw (dráp, klepítko), která je rozdílná pouze v tvaru rotoru.



Obr. 9. Kombinovaná Roots - claw vývěva [11]

Použitím této kombinace docílíme, že claw rotory vytvoří předvakuum pro rotory Roots, a ty zvýší svou funkcí mezní tlak a čerpací rychlost.

Rootsova a claw vývěva jsou si velmi podobné, stator má tvar téměř shodný, rozdíl je v rotorech, které jsou ve tvaru "drápků" (klepet). Dalším rozdílem je taky umístění sacího a výtláčného kanálu, který není stále otevřen, ale otvírají se pomocí rotorů a jejich polohy.



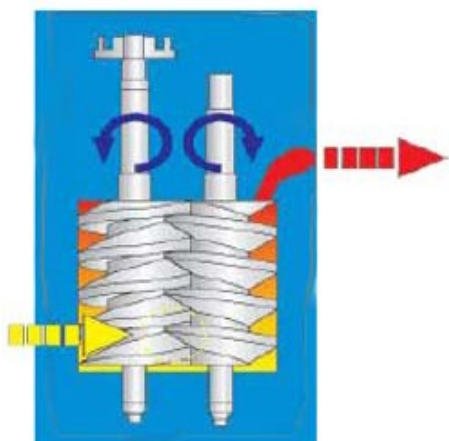
Obr. 10. Pracovní cyklus claw vývěvy, tvar klepítek S [14], [15]

Na obrázku je znázorněn celý cyklus plnění, stlačování a vyfukování plynu ve vývěvě. Nejprve dojde k nasátí plynu pomocí kanálku v jednom z rotorů, potom je prostor zcela zaplněn čerpaným plynem, dále dochází ke stlačování plynu, kdy se začíná opět otvírat sací kanálek a vše končí tím, že drápky do sebe zapadají, aby vyfoukly zbytek plynu.

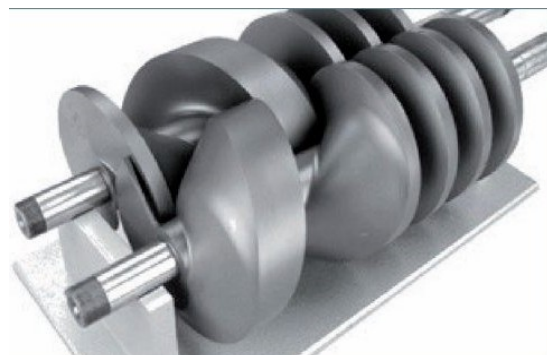
Také se můžeme setkat s vývěvou, která má místo drápků (klepítek) rotory ve tvaru písmene S, u nichž dochází ke dvěma pracovním cyklům za jednu otáčku.

Šroubové vývěvy

Šroubové vývěvy jsou principiálně jednoduché, jejich princip je založen na otáčení dvou rotorů, které jsou tvaru šroubovice a otáčejí se v opačném smyslu jeden proti druhému. Sací a výfukový kanál je trvale otevřen, tím pádem je plyn trvale nasáván, postupně stlačován v komůrkách mezi rotory a vyfouknut do výtláčného kanálu.



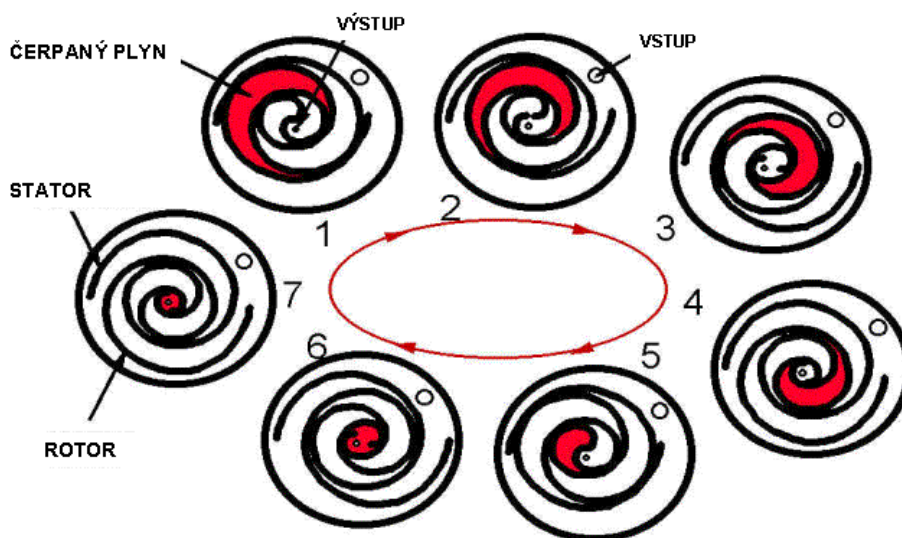
Obr. 11. Schéma šroubové vývěvy [1]



Obr. 12. Rotory s proměnlivým stoupáním pro větší účinnost [14]

Spirálové vývěvy (Scroll)

Tento typ vývěv je jedním z nejpoužívanějších, vyznačují se především vysokou čerpací rychlostí, dobrým mezním výkonem, svou konstrukcí, nízkým hlukem a vibracemi. Ovšem musíme dbát na čistotu čerpaného plynu, protože jsou náchylné na nečistoty, které plyn může obsahovat. Pozornost musíme klást také na přesnou montáž a na nepříliš nízké provozní náklady na výměnu těsnění, které je mezi scrolly [1].



Obr. 13. Princip spirálové činnosti vývěvy [11]

Tyto vývěvy jsou založeny na šnekovém principu, který je zobrazen na obr. 13. Jak stator, tak i rotor jsou kruhového průřezu, na kterých je vystouplá spirála (tzv. scroll). Tyto spirály do sebe zapadají, avšak nedotýkají se mezi sebou. Je mezi nimi malá vůle (mezera), která při excentrickém pohybu rotoru zajišťuje, že dochází ke stlačování nasávaného plynu směrem do středu spirály, kde dochází k vyfouknutí plynu ven.

Zmínit se můžeme i o tom, že se můžeme také setkat s dvoustupňovou konstrukcí spirálových vývěv, kde má rotor spirálu z obou stran a zapadá do dvou spirál, které mají na sobě statory.



Obr. 14. Dvoustupňová spirálová vývěva firmy Oerlikon Leybold [14]

Tato spirálová vývěva je vhodná pro čisté a bezolejové aplikace, hodí se především k předčerpávání turbomolekulárních vývěv. Vhodné jsou také při použití různých vědeckých a výzkumných laboratořích, především kde se používají nejrůznější elektronové mikroskopy, spektrometry a přesná technika, u níž se vyžaduje čistota bez použití oleje.

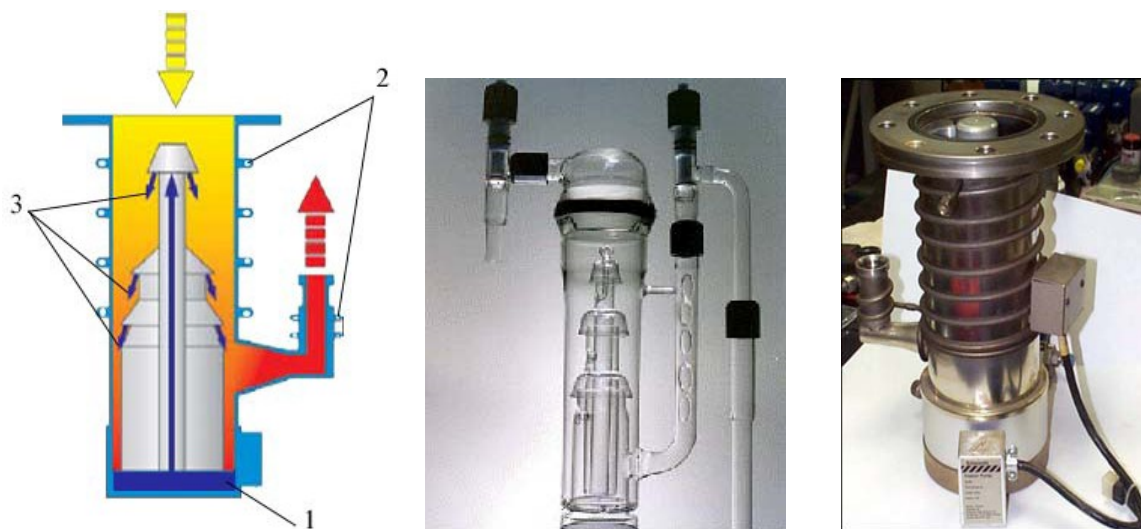
2.3. Hybnostní vývěvy

Difúzní vývěva

Difúzní vývěva je velmi často využívána v oblasti vysokého vakua a při vhodném výběru čerpací látky lze dosáhnout až ultravakua.

Ke své činnosti vyžaduje předvakuum a to bývá většinou vytvořeno rotační olejovou vývěvou. Difúzní vývěva nemá žádné pohyblivé součásti, ale skládá se z varné části, ve které se pracovní tekutina (olej, rtuť) zahřívá k varu, odpařuje se a vzniklé páry jsou vedeny tryskou do prostoru vývěvy.

Tyto páry proudí stejným směrem, jako je směr proudění čerpaného. Čerpaný plyn difunduje do par pracovní tekutiny a takto vzniklá směs je pak vedena do prostoru, kde zkondenzuje pouze pracovní tekutina (a stéká zpět do varné části) a čerpaný plyn je odveden primární vývěvou ze systému. Abychom zajistili správnou funkci této vývěvy, je potřeba její plášť chladit, obvykle je to vodou [1].



Obr. 15. Schéma difúzní vývěvy: 1- varná část, 2- plášť chlazený vodou, 3- prostor vývěvy s tryskou, skleněná difúzní vývěva chlazená vzduchem, kovová difúzní vývěva chlazená vodou [1]

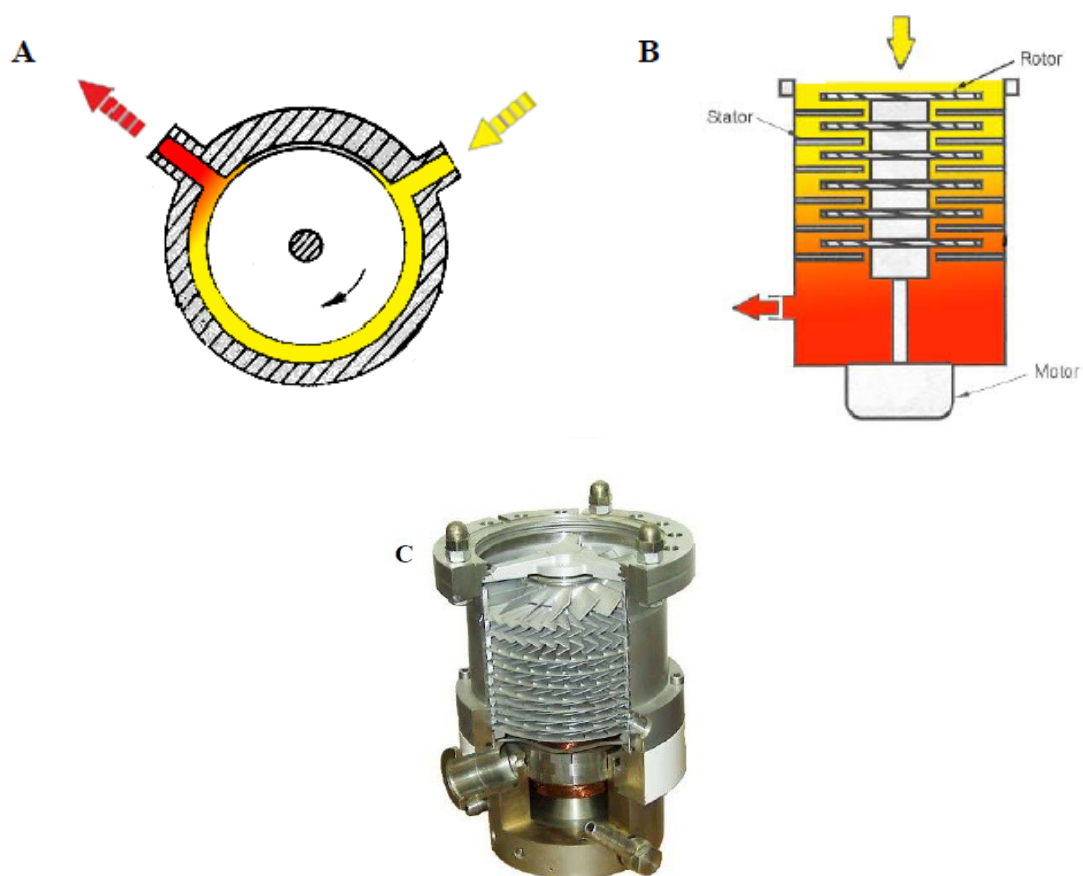
U této vývěvy je nevýhodou, že čerpací rychlost je nízká a pro dosažení mezního tlaku je potřeba plyn z prostoru odčerpávat i několik desítek hodin. Dalším záporem je, že může dojít ke znečištění vytvořeného vakua odpařováním pracovní kapaliny. Naopak velkou výhodou je poměrně nízká cena, jsou konstrukčně jednoduché, odolné a hlavně jsou schopny čerpat jakýkoliv plyn.

Molekulární a turbomolekulární vývěva

Tento typ pumpy má asymetricky uložený rotor, nemá žádné lamely a jiné pohyblivé části. Pokud se jedná o molekulární vývěvu, je rotor zcela hladký a otáčí se velmi vysokou rychlostí (15-20 tisíc ot^{-1}). Rotor musí být dokonale vyvážený a uložení jeho hřídele je

v magnetické levitaci (vzniká kolem ní silné magnetické pole), nebo jsou použita keramická kluzná ložiska.

Principem vývěvy je, že molekuly čerpaného plynu vstupují do vývěvy přes sací otvor, kde dopadají na rychle se otáčející rotor, který jim předá impuls ve směru tečny k němu. Tím vznikne srážka molekuly s rotorem a ta zapříčiní, aby se molekula pohybovala ve směru čerpání plynu. Mezní tlak může dosáhnout hodnoty 10^{-4} Pa, čerpací rychlost těchto vývěv je ale nízká a proto došlo k tomu, že byla zkonstruována vývěva turbomolekulární [1].



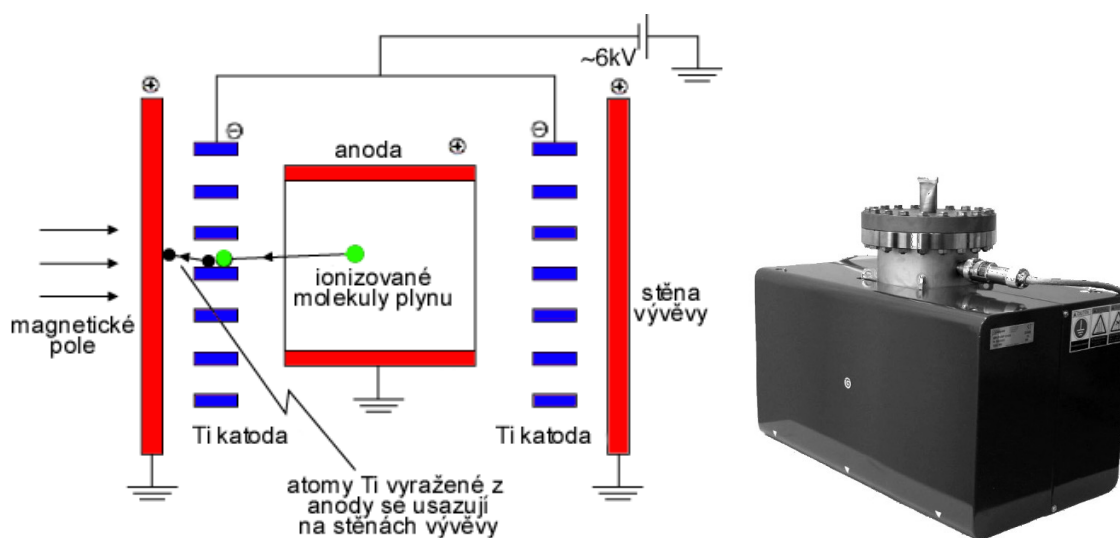
Obr. 16. A) Schéma molekulární vývěvy, B) Schéma turbomolekulární vývěvy, C) řez turbomolekulární vývěvou [1]

Na stejném principu je založena i turbomolekulární vývěva, avšak rozdílem je to, že molekuly plynu odráží rotor s lopatkami ve směru čerpání. Tento rozdíl má za následek snížení mezního tlaku na hodnotu kolem 10^{-11} Pa. Tak jako každá vývěva má i tato své výhody a nevýhody. Nevýhodou je velká náročnost na výrobu a tím pádem je i drahá, pracovat může až od určitého předvakua (je používána většinou s olejovou rotační vývěvou) protože by došlo při čerpání plynu od atmosférického tlaku k zahřátí lopatek, jejich deformaci a zničení [1].

Výhodou je, jak už bylo řečeno, snížení mezního tlaku o několik řádů a vytvoření velmi čistého vakua bez oleje. Tyto vývěvy jsou velmi oblíbené a jsou součástí celé řady spektroskopických zařízení, elektronových mikroskopů apod.

Iontová vývěva

Iontové vývěvy jsou tvořeny dvěma katodami, které jsou z titanu a trubicovou anodou. Tím, že na anodu přivedeme napětí několik kV, vznikne výboj, který rozprašuje materiál elektrod na okolní stěny. Protože tento výboj vzniká v magnetickém poli permanentního magnetu, je pravděpodobnost toho, že dojde ke srážce elektronu rozprášeného materiálu s molekulou čerpaného plynu zvyšována. Pohyb těchto elektronů v magnetickém poli je šroubový, protože pole je kolmé k rovině elektrod. Elektrony jsou při srážce s molekulou ionizovány a vzniklé ionty se strhávají na katodu, kde jsou absorbovány na titanovém povrchu.



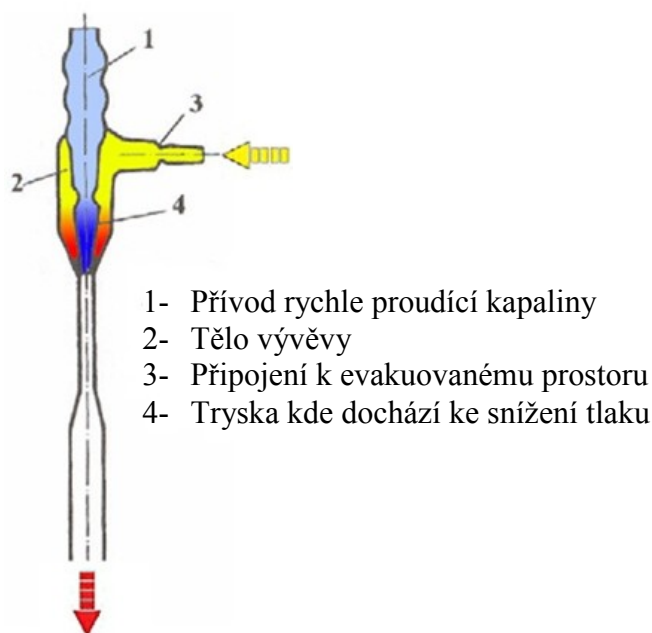
Obr. 17. Schéma iontové vývěvy, fotografie iontové vývěvy [1]

Tím, že je titan rozprašován a je zachycován na ostatních částech vývěvy, kde na sebe váže zbytky čerpaných plynů, dochází ke zvyšování účinnosti vývěvy. Tento typ pumpy pracuje v cyklech a lze s ním dosáhnout mezního tlaku až 10^{-10} Pa. Nevýhodou je vysoká cena, vysoký elektrický příkon, poměrně velká hmotnost, nízká čerpací rychlost a především vyměňování elektrod. S těmito vývěvami lze dosáhnout ultravysokého vakua u speciálních přístrojů, jako jsou elektronové mikroskopy, hmotnostních spektrometry [1].

Vodní vývěva

Někdy se těmto vývěvám říká také ejektorové. Princip je takový, že proud vody je přiváděn do zužující trysky, ve které se zvyšuje rychlost proudu a zúžený vodní paprsek vstupuje do komory vývěvy, kde dochází k turbulentnímu míšení vody se vzduchem. Zpěňená voda pak odchází výstupní trubicí z vývěvy. Náplň je většinou voda, ale můžeme se setkat také s užíváním páry nebo silikonovými oleji.

Tato vývěva je levná, konstrukčně velmi jednoduchá, rozšířená především v laboratořích, avšak nedosahuje nijak velkých čerpacích rychlostí a nevýhodou je velká spotřeba vody [2].



Obr. 18. Schéma vodní vývěvy [1]

3 Edwards a jeho konkurence

3.1. Představení společnosti Edwards:

Společnost Edwards je jedním z vedoucích představitelů vakuové technologie pro průmyslové, vědecké a polovodičové aplikace.

Historie firmy je v Anglii (Londýně), kde ji založil F. D. Edwards v roce 1919. Dnes najdeme její pobočky ve Velké Británii, USA, Izraeli, Singapuru či Japonsku, ale mezi největší se řadí výrobní pobočka v České republice a Koreji.

Společnost Edwards vynalezla koncepci bezolejové “suché” vývěvy a v současné době se zabývá řadou suchých vývěv, u nichž jsou použity zubové, patní, spirálové a kombinované mechanismy. Je i představitelem jiné čerpací techniky, do které patří rotační lopátkové, difuzní a turbomolekulární vývěvy.

3.2. Konkurence společnosti:

Tak jako ve všech odvětvích, které se týkají výroby, i v zastoupení technologie zabývající se vakuem je konkurence této společnosti velká. Protože výrobců tohoto zaměření je spousta, uvedu zde jen pár, které jsou konkurencí v oblasti rotačních olejových vývěv.

▪ Oerlikon Leybold Vacuum

Na základě zkušeností již 160 let ve vakuové technice nám tato firma nabízí široký sortiment vývěv s tvorbou vysokého vakua, různých vakuových systémů, procesů a aplikací s využitím vakua. Díky výzkumu a vývoji, zpracovatelskému průmyslu a informační technologii mají tyto vývěvy své specifické části a díky tomu se firma Oerlikon Leybold řadí se mezi tři nejlepší poskytovatele vakuové techniky.

▪ Pfeiffer

Tato firma se vakuovou technikou zabývá 120 let a své sídlo má v Německu. Je předním světovým výrobcem vakuových komponentů a technologií pro široký rozsah použití jak pro průmyslové tak i pro výzkumné využití. Velkou předností této firmy je především vynalezení turbomolekulárních vývěv před více než 50 lety.

▪ Varian

Firma Varian pochází z USA, spojila se s firmou Agilent Technologies, která se zabývá výrobou laboratorní techniky (např. spektrometry). Pomocí vakuové techniky, kterou nabízí je možno dosáhnout základní, střední a ultra-vysoké vakuum. Sortiment, který nabízí, nejsou jen vývěvy, ale i měřicí technika, ventily, armatury, detektory úniku pro všechny aplikace.

▪ WELCH

Vývěvy pro vakuovou techniku dodává již více než 100 let. Díky svým dlouholetým zkušenostem a znalostem nabízí pásový a přímý pohon vývěv. Mezi její sortiment lze zařadit vývěvy s označením PTFE což jsou membránové, WOB-L jsou suché pístové, rotační

lamelové. Firma Welch nabízí svůj široký sortiment vakuové techniky především pro oblast chemických a biologických laboratoří.

- **ULVAC**

Společnost byla založena v Japonsku v roce 1952 a zabývá se všemi odvětvími vakuové techniky. V dnešní době je světovým dodavatelem systémů výroby, vybavením a komponenty vakuové techniky a hlavně vývěvami. Tato technologie se používá především při výrobě plochých displejů, disků, magnetických médií a jinými aplikacemi.

- **Alcatel Vakuum technology**

Tato firma patří také k lídrům ve vakuové technice, své zkušenosti, výzkum a vývoj v polovodičovém průmyslu a především výrobu vakuových mechanismů uplatňuje už více než 40 let. Mezi její sortiment můžeme zařadit velmi proslulé rotační vývěvy a turbomolekulární vývěvy, dále taky hledače netěsnosti, vakuometry, plazma senzory, ventily, atd.

3.3. Požadavky zákazníků na vývěvy:

Tyto vývěvy se dají použít v širokém rozsahu různého uplatnění, proto si zákazník vybírá vývěvu podle toho, na co ji bude používat a co u ní bude upřednostňovat za vlastností a parametry. Mezi tyto vlastnosti patří (viz. příloha 1):

- Čerpací rychlost
- Pořizovací cena
- Mezní tlak vývěvy
- Rozměry a hmotnost
- Vibrace a hluk vývěvy
- Spotřeba energie
- Náklady na údržbu (pravidelný servis)
- Životnost a spolehlivost vývěvy
- Možnost čerpání agresivních látek

Pro výběr vhodné vývěvy je těchto parametrů dost, ale pokud už jako zákazník vybíráte vývěvu, nejsou bohužel všechny tyto parametry volně přístupné. Každý výrobce si udává jen své parametry, které může, nebo lépe řečeno chce uveřejnit. Zbytek parametrů není zveřejněno, aby nedošlo k odhalení silných nebo naopak slabých stránek a proto se můžete při

zjišťování skrytých parametrů zkontaktovat s výrobcem, který Vám tyto informace sdělí. Ovšem ne vždy se Vám podaří tyto informace získat i od nich.

3.4. Porovnání vývěvy RV s konkurencí:

Vývěvu RV jsme porovnávali s konkurencí na základě analýzy hodnoty pro zákazníka. Tento výraz nám vyjadřuje hodnotu vnímanou zákazníkem ovlivněnou jím definovanou úrovní jakosti výrobku, kterou jsme na trhu získali za při přijatelnou cenu. Pomocí této analýzy použitím vhodných parametrů vývěv zjišťujeme postavení organizace na trhu oproti konkurenci.

Abychom mohli srovnat a ohodnotit vývěvy firmy Edwards s konkurencí, provedl jsem toto srovnání pomocí několika lidí, kteří by jakožto nastávající zákazníci ohodnotili jednotlivé parametry vývěv. Toto hodnocení slouží pouze jako orientační (viz. příloha 2).

Ze získaných dat jsem sestavil strom hodnot, který je tvořen atributy jakosti a ceny. Mezi tyto atributy podle jejich závažnosti rozdělíme 100% a následně mezi jednotlivé parametry vývěv rozdělujeme 100 bodů k atributům jakosti a 100 bodů k atributům ceny.



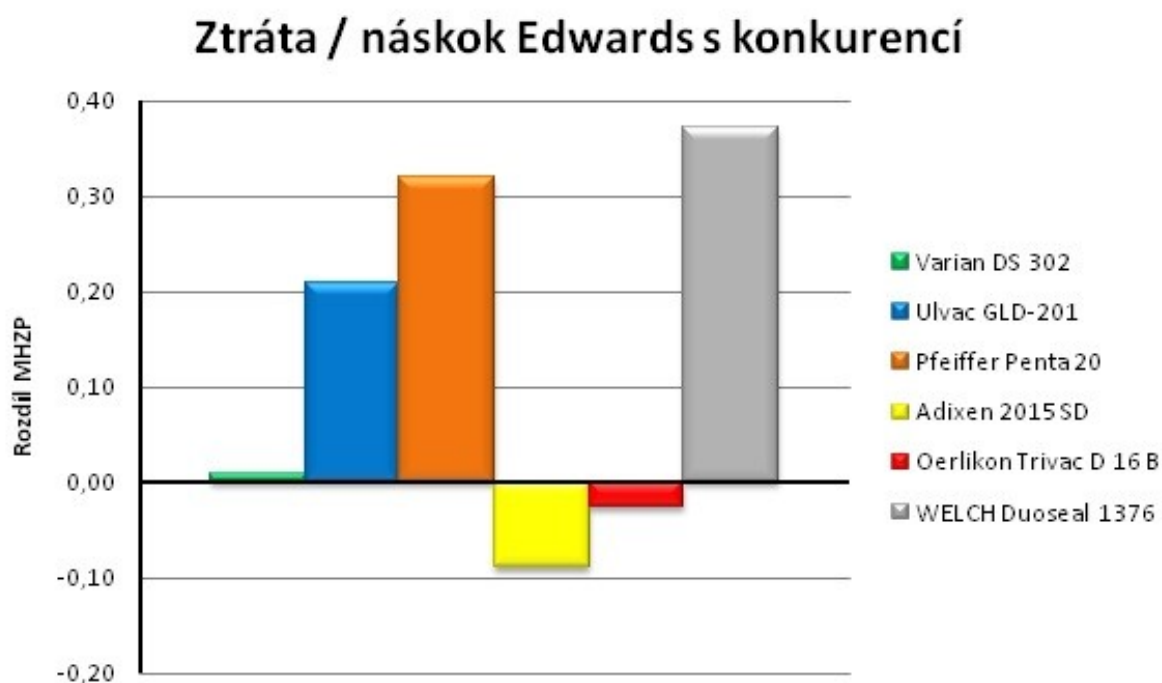
Obr. 19. Strom hodnot pro zákazníka

Porovnával jsem jednotlivé parametry vývěvy RV 12 s parametry konkurence schopných vývěv. Toto srovnání bylo prováděno podle sacího výkonu o to pro výkon $\pm 12 \text{ m}^3/\text{h}$ (viz přílohy 3 – 14). Podle porovnání a rozdělení hodnot parametrů vývěv jsem stanovil

pro jednotlivé konkurenty dle [4] koeficient MHZP - míra hodnoty pro zákazníka, pomocí kterého jsem prováděl následné vyhodnocení.

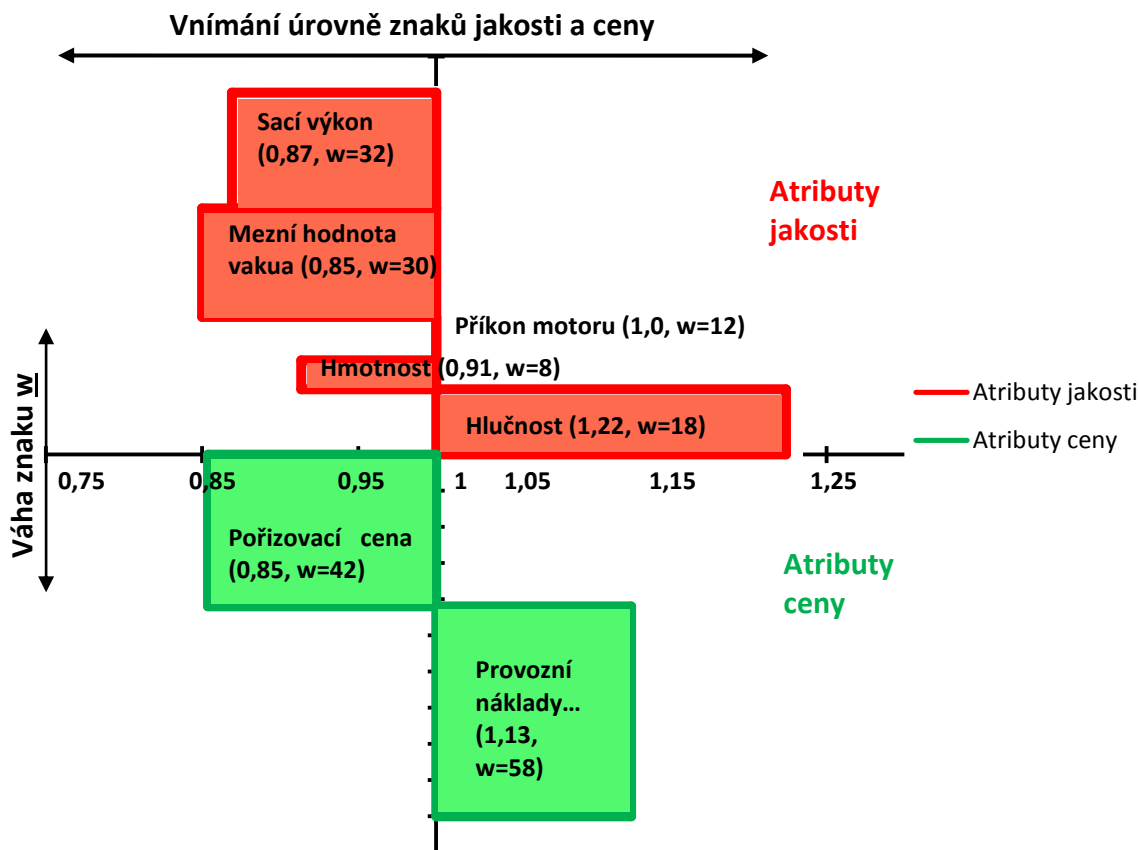
3.4.1. Konkurence RV

U olejem utěsněných rotačních vývěv je poměrně široká nabídka u jednotlivých výrobců. Je zde ve srovnání i vývěva, která je konstrukčně spojena s elektromotorem pásem (řemenem) a to vývěva Duoseal 1376 od výrobce Welch. Všechny porovnávané vývěvy jsou přibližně stejného sacího výkonu, avšak rozdíl je u firmy Pfeiffer, která tento typ vývěv vyrábí, co se mi podařilo najít, od sacího výkonu $22 \text{ m}^3/\text{h}$, což je typ Penta 20.



Obr. 20. Porovnání vývěvy RV 12 s konkurencí (záporné hodnoty = firmy lepší než Edwards, kladné = horší jak Edwards)

Toto porovnání, které jsem vytvořil na základě rozdílu $MHZP_{Edw.}$ a $MHZP_{kon.}$, nám ukazuje ztrátu naší vývěvy RV 12 na vývěvu Adixen 2015 SD. Jednotlivé ztráty na Adixen, který nám v tomto porovnání vyšel jako nejlepší, jsou zobrazeny v následujícím grafu.



Obr. 21. Porovnávací graf hodnot pro zákazníka mezi firmou Edwards a konkurenční firmou Adixen (hodnoty vlevo – lepší parametry vývěvy firmy Adixen, vpravo – lepší parametry vývěvy firmy Edwards)

4 Vliv vibrací a hluku na zdraví člověka

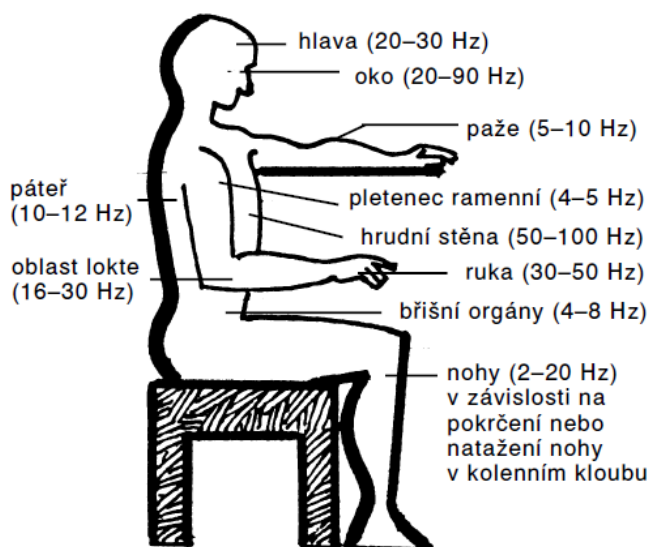
Rotační lamelové vývěvy (zkr. RV) jsou využívány například i v laboratořích, kde jsou součástí např. elektronových mikroskopů, je potřeba při jejich činnosti lidská přítomnost. Jak už je známo, tak všechny rotační součásti, které jsou v pohybu, vytváří nějaký hluk a vibrace. Někdy jsou tyto parametry potřebné a důležité z toho důvodu, abychom mohli diagnostikovat zařízení, avšak v některých případech jsou nežádoucí. Při dlouhodobém působení na lidský organismus ho mohou ovlivnit.

4.1. Vliv vibrací na lidský organismus:

Vibrace lze definovat jako pohyb pružného tělesa nebo prostředí, u něhož jednotlivé body kmitají kolem rovnovážné polohy. Vznikají u většiny pohybů a to třeba u chodu strojů a přístrojů, u rotačních pohybů, u pohybu dopravních prostředků, ale i třeba lodní palubou nebo jiným prostředím. Vibrace se můžou přenášet přímo (ze stroje, zařízení), nebo přes několik materiálů, prostředí (vlny na moři přes loď, podlahou bytu atd.) [8].

Velikost a tudíž i pro člověka škodlivost vibrací, je dána tělesným stavem a stavbou těla, dále také tím jaká je poloha a směr těla vůči vibracím, velikostí plochy přenášející vibrace a spousty dalších faktorů.

Ovšem lze říci, že každá část těla má jinou rezonanční frekvenci a při určitém kmitočtu (hodnotě vibrací) může docházet k zesílení účinku vibrací. Následující obrázek vám poskytne obecný pohled, jaké jsou frekvence jednotlivých částí lidského těla, ovšem každý jedinec je jinak zdatný, tudíž jsou tyto hodnoty orientační.



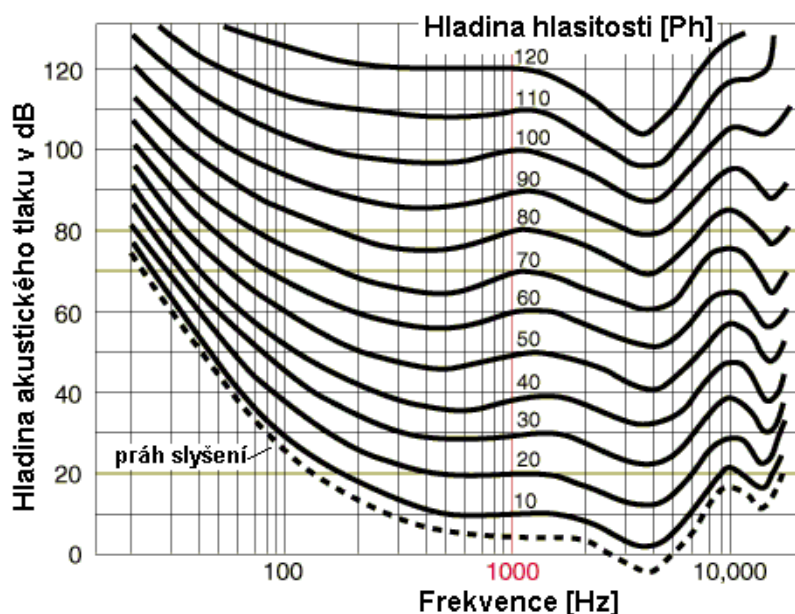
Obr. 22. Rezonanční frekvence jednotlivých částí člověka [8]

U vibrací, které produkuje naše vývěva lze říci, že by nemělo docházet k ohrožování nebo poškozování zdraví člověka. Takovýmto rizikům se vystavují lidé, kteří jsou ve styku se stroji a zařízeními, která generují tyto nebezpečné vibrace (např. bagry, sbíječky, řidiči různých stavebních, zemědělských, zemních a jiných strojů).

4.2. Vliv hluku na lidský organismus:

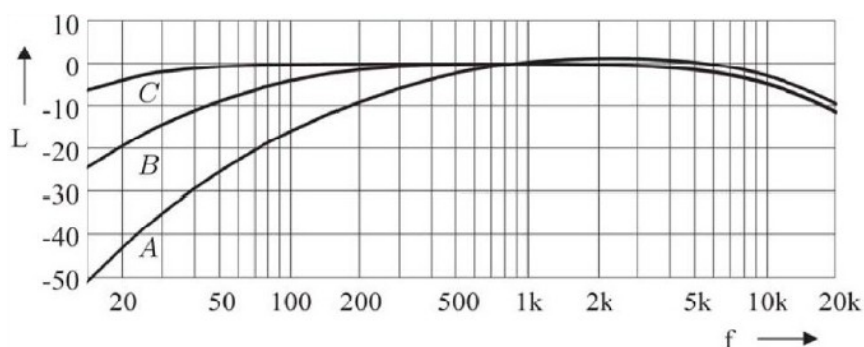
Hluk můžeme obecně definovat jako zvuk, který je nežádoucí a vyvolává nepříjemný nebo rušivý pocit či vjem, který i když nevnímáme, může mít nežádoucí účinky a může být zdraví škodlivý. Tak jako i s vibracemi je hodnota hluku pro každého jedince stanovena jinde, avšak některé skupiny hluku působí na všechny jedince stejně.

To, co naše lidské ucho slyší, jsou zvuky určitých frekvencí. Frekvence, které jsme schopni slyšet, se nachází v rozmezí 16 Hz až 20 kHz. Zvuk je udáván v kmitech za vteřinu, což jsou jednotky hertz (Hz). Nejlépe vnímá lidské ucho frekvenční rozsah řeči, což je kolem 100 – 8000 Hz. Jak už bylo řečeno vysoké nebo naopak nízké frekvence zvuku vnímá každý jedinec jinak [5].



Obr. 23. Křivky hladin stejné hlasitosti [12]

Abychom eliminovali tyto zvuky, které ucho vnímá špatně, používáme pro korekci tzv. váhové filtry. Tyto filtry se dělí do čtyř skupin A, B, C, D. Použitím filtru vlastně zohledňujeme konstantní hlasitosti a hluk je vyhodnocován v podobě, kterou člověk vnímá. V technické praxi je nejvíce využíván váhový filtr typu A, který zachycuje nejlépe vliv hluku na ústrojí sluchu.



Obr. 24. Křivky váhových filtrů [12]

Lékařské studie vypovídají o tom, že hluk je škodlivý pro lidské zdraví. Mnozí si ani neuvědomují, jaký má hluk vliv na psychiku člověka, která může způsobovat např. depresi, únavu, agresivní chování, snížení výkonnosti a jiné neblahé věci.

Zvuk, který není lidské ucho schopno zaznamenat je tzv. infrazvuk (zvuk, který používají k dorozumívání např. velryby, sloni, hroši atd.). Pokud jsou intenzity tohoto zvuku malé, může člověk pociťovat pouze nepříjemné vibrace, případně nevolnost, avšak pokud je intenzita vysoká, může dojít k protržení kochleární membrány nebo infarktu. Někteří vnímaví jedinci mohou pociťovat tzv. zalehnutí v uších. Pokud hodnota hladiny hluku přesáhne 130 dB, může dojít k poškození sluchu a ohrožení zdraví. K poškození sluchu může také ovšem dojít při dlouhodobém vystavování hluku od 70 dB výše.

Tab 2. Hladiny intenzit zvuku a různých zdrojů [12]

dB	subjektivní vnímání	druh hluku	dB	subjektivní vnímání	druh hluku
0	práh slyšitelnosti	hranice slyšitelnosti	70	nepříjemný hluk	hlučná ulice, vysavač, potlesk
10		šelest listí, akustická laboratoř	80		tunel metra, křik, silná hudba
20	hluboké ticho	klidná zahrada, knihovna	90	velmi nepříjemný hluk	motorová vozidla, vlak
30		pouliční hluk	100		sbíječka, vrtačka, hluk motorky
40	ticho	šum v bytě, tlumený hovor	110	krátce snesitelný hluk	rocková kapela, obráběcí stroje
50	běžný hluk	normální pouliční hluk	120		start letadla
60		běžná konverzace	130	práh bolesti	hluk působící bolest

Mezi nepříznivé účinky hluku na lidské zdraví můžeme zahrnout tyto následky:

- **Zhoršení řečové komunikace**

Dochází k ní při zvýšené hodnotě hluku a má mnoho nepříznivých důsledků v oblasti chování, vede k podrážděnosti a nespokojenosti. Může také vést k překrývání a maskování důležitých signálů, jako jsou telefony, alarmy, domovní zvonek. Nejcitlivější skupinou jsou osoby s vysokým věkem, se sluchovou ztrátou a malé děti osvojující si řeč [7].

- **Poškození sluchového aparátu**

Pokud dochází ke zhoršování sluchu, je to nevratný proces a to z toho důvodu, že se dlouhodobě vystavujeme zvýšeným hladinám hluku. Nicméně platí, že riziko sluchového postižení může vzniknout i u hluku netýkajícího se pracovního prostředí, ale i při různých činnostech spojených s vyšší hlukovou zátěží.

- **Nepříznivé ovlivnění spánku**

Projevuje se obtížemi, probouzením, změnami délky spánku a zejména fází spánku. Mimo jiné může také docházet ke zvýšení krevního tlaku, zrychlení srdečního tepu, změnám dýchání atd. Jak víme z vlastní zkušenosti, když se člověk nevyspí dobře, dochází i na druhý den k rozmrzelosti, zhoršené náladě, bolesti hlavy, zhoršení výkonu a především únavou. Někdo si myslí, že v lokalitách kde je tento hluk jsou schopni si lidé na něj zvyknout po více letech, ale není tomu tak.

- **Ovlivnění kardiovaskulárního systému**

Z řady laboratorních pokusů je prokázán účinek hluku na kardiovaskulární systém a to jak v přechodné formě v podobě zvýšení krevního tlaku, krevního tepu, tak i trvale a to ve formě hypertenze nebo ischemické choroby srdeční [7].

- **Nepříznivé ovlivnění výkonnosti**

Toto ovlivnění je sledováno pouze v laboratořích u dobrovolníků a je prokázáno, že u práce kde je potřeba se soustředit, být pozorný a využívat paměť je zvýšená hluková škodlivým faktorem.

- **Projevy poruch duševního zdraví**

Není prokázáno, že by hluk mohl být příčinou duševních onemocnění, ale není vyloučeno, že by se nemohl podílet na zhoršení duševních poruch a jejich symptomů. Jako

ukazatel poruchy duševního zdraví v souvislosti s hlukem bylo prokázáno zvýšení spotřeby léků, psychiatrických příznaků a hospitalizací.

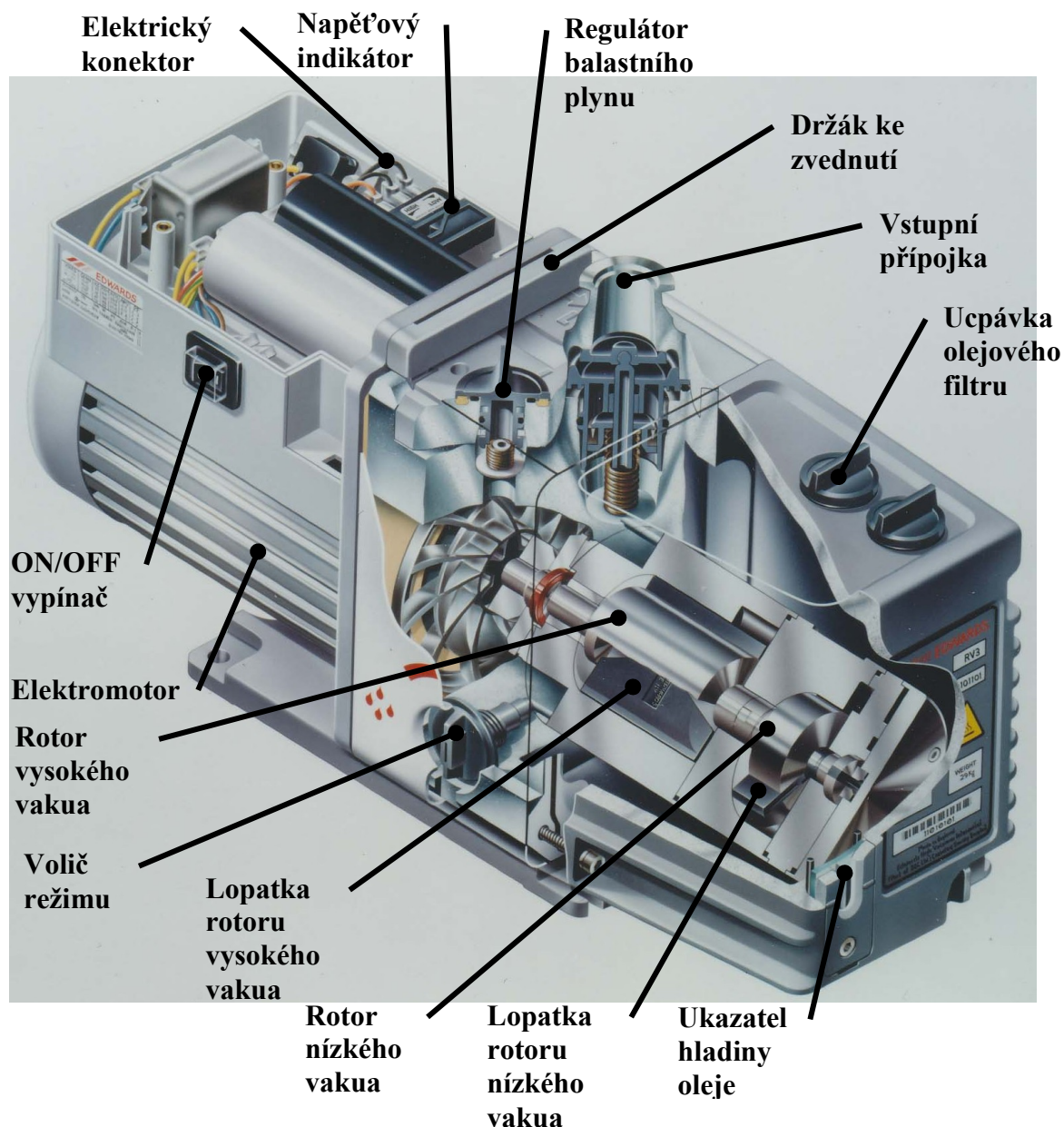
Pokud se budeme bavit o naší měřené vývěvě RV 12, je udávána hodnota hluku v katalogu do 48 dBA. Tato hodnota je vyhovujícím parametrem pro použití vývěvy na pracovišti, kde se nachází obsluha a nemělo by docházet k nějakému ovlivňování nebo poškození zdraví. Pokud bychom chtěli toto posouzení provést podle Lehmana, který rozdělil hluk na tři hlukové hladiny, by spadala hodnota hluku naší vývěvy do druhé hladiny (30 – 60 dBA), kde může být hluk škodlivý jen za určitých okolností a stavu organismu.

4.3. Měření hluku ve firmě Edwards:

Pokud se jedná o měření hlučnosti vývěv, je firma Edwards vybavena měřicí komorou, kde tato měření hlučnosti provádí. Po tom, kdy je vývěva smontována a projde záběhovým testem, kde dojde i k zahřátí, se zkouší její hlučnost, která je potom uváděna jako katalogový parametr. Toto měření se provádí pro vývěvy, které jsou jak ve verzi 50 Hz tak i 60 Hz. Měření se provádí tak, že je vývěva v měřicí komoře umístěna ve vzdálenosti jednoho metru od měřicího mikrofону, a je k němu natočena blíže částí samotné pracovní části vývěvy a elektromotor je od mikrofону vzdálen více.

U tohoto typu vývěvy je měřena hodnota hlučnosti, respektive akustického tlaku a povolená hranice hladiny akustického tlaku u verze 50 Hz je 49,5 dBA a u verze 60 Hz je 52,5 dBA. Hodnoty decibelů jsou označeny dBA z toho důvodu, že jsou tyto hodnoty váženy váhovým fítem typu A, který je v praxi používán nejčastěji. Pokud je hodnota akustického tlaku naměřena větší, je z vývěvy demontován elektromotor, který se vrátí zpět na montážní linku a namontuje se na jinou vývěvu a na měřenou vývěvu se namontuje motor nový. Vývěva zkompletovaná s elektromotorem se opět nechá zahřát a test hlučnosti se provádí znovu.

5 Popis a konstrukce měřené vývěvy RV 12



Obr. 25. Řez vývěvou RV 12 [11]

Popis vývěvy:

Rotační lamelová vývěva RV je dvoustupňová, její prostor je zaplněn z části olejem, který slouží mimo jiné taky jako mazivo kluzných lamel tzv. blade. Vývěva má vstupní a výstupní hrdla, regulátor balastního plynu tzv. gas balast a volič režimu. Při vypnutí vývěvy dochází k tomu, že vstupní ventil uzavře vstup do vývěvy a tím pádem brání zpětnému

nasávání vzduchu a oleje do vakuového systému. Jsou taky z vrchní strany vybaveny držákem, aby se daly zvednout a dobře se s nimi manipulovalo.

Do sacího mechanismu vývěvy přivádí čerpadlo stlačený olej, hladinu a stav tohoto oleje můžeme kontrolovat pomocí bočního průhledného okýnka. Prostor zásobníku oleje má dva plnicí otvory a jeden otvor vypouštěcí. Tato vývěva je poháněna jednofázovým nebo třífázovým elektromotorem, ten je celý zakrytován a chlazen ventilátorem. Elektromotor je spojen s mechanismem vývěvy pomocí pružné spojky. Tato spojka je spojena s přídatným ventilátorem sloužícím k chlazení vývěvy. Elektromotor je dále osazen vypínačem a ochranou proti přehřátí. Pokud dojde k přehřátí motoru, tato ochrana zajistí, že vývěva se vypne, aby nedošlo k poškození. Při zchlazení motoru se ochrana automaticky odblokuje a motor se znovu spustí.

Jak už bylo zmíněno vývěva je opatřena ovládacími prvky, kterými je volič režimu a regulátor balastního plynu. Při jejich použití můžeme docílit až šesti možných nastavení, které poskytují dostatečně široké rozmezí provozních charakteristik pro co nejvyšší využití výkonu vývěvy dané aplikace.

Volič režimu:

Ovládá přívod oleje ke stupni vysokého a nízkého sání vývěvy. Má dvě polohy, pomocí kterých můžeme nastavit dva režimy.

- Režim silného vakua – olej je pod tlakem přiváděn jen ke stupni nízkého sání, vývěva vytváří maximální možný absolutní tlak sání.
- Režim silného průtoku – olej je pod tlakem přiváděn jak ke stupni vysokého sání, tak i ke stupni nízkého sání, vývěva tak udržuje dlouhodobě vysoké vstupní tlaky.

Regulátor balastního plynu:

Z důvodu, že některé nasávané látky mají vysoký obsah par, se přivádí do vývěvy balastní plyn, který zabraňuje kondenzování par z procházejících plynů. Má tři polohy.

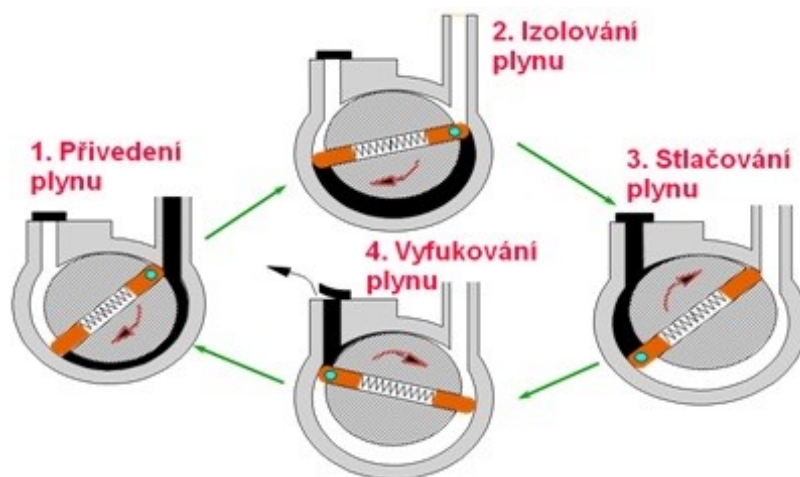
- Poloha 0 – zavřeno
- Poloha I – slabý proud
- Poloha II – silný proud

Konstrukce vývěvy:

Rotační části jako jsou hřídel a rotory jsou vyráběny z vysoce jakostních slitin, skříně a olejový zásobník je vyroben ze slitiny hliníku. Dalšími použitými konstrukčními materiály jsou křemík, nikl, nitril, chemicky odolné polymery, nerezová ocel a fluorovaný uhlíkový elastomer. Jak je vidět tak škála používaných materiálů je vysoká a také nutná.

Princip rotační lamelové vývěvy:

Prvním krokem pracovního cyklu vývěvy je nasátí čerpaného plynu, kdy je sacím otvorem nasáván plyn. Jakmile dojde k uzavření plněného prostoru lopatkou tzv. blade je plyn uzavřený v tomto prostoru postupně stlačován, až dojde k vytvoření velkého tlaku tohoto stlačovaného plynu a plyn je vyfouknut z vývěvy ven.



Obr. 26. Schéma pracovního cyklu vývěvy [11]

6 Očekávané závady vývěvy a jejich možný projev ve vibračním spektru

Možné závady vývěvy týkající se vibrací a hluku:

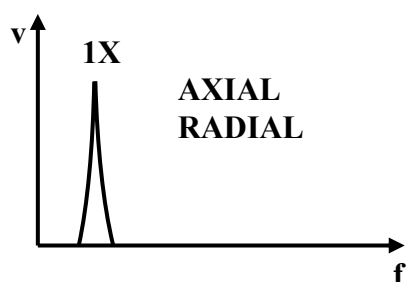
Jelikož je vývěva sestavena jak z vlastní pracovní části, tak i elektromotoru spojeného s ní spojkou, můžeme předpokládat výskyt některých vibrací tohoto mechanismu jako celku. Za tyto závady způsobující vibrace a hluk můžeme považovat:

- Nevyváženost
- Špatné ustavení – elektromotoru, spojky a samotné pracovní části vývěvy
- Ložiska – Špatná vůle, opotřebení
- Závady samotného elektromotoru – elektricky vybuzené vibrace

6.1. Nevyváženost:

Za nevyváženost lze považovat nerovnoměrné rozložení hmot na rotujících částech strojů. Nevyváženost má za následek způsobování vibrací, které se vyskytují prakticky u všech rotačních strojů. Pokud budeme hledat závadu, kterou je nevyváženost ve frekvenčním spektru, projeví se nám dominantní špička na první otáčkové frekvenci měřená v radiálním směru. Ve spektru časovém se nevyváženost projeví sinusovým průběhem.

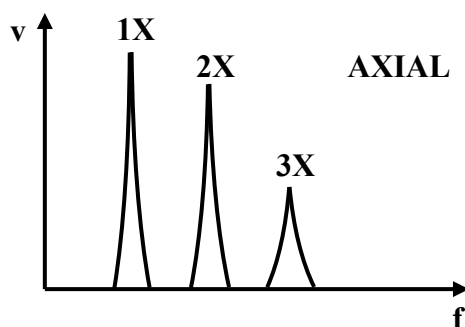
Co se týká nevyváženosti celé vývěvy, lze říci, že tuto závadu by mohla způsobovat pružná spojka, která by mohla být nepřesně opracována a špatně vyvážena.



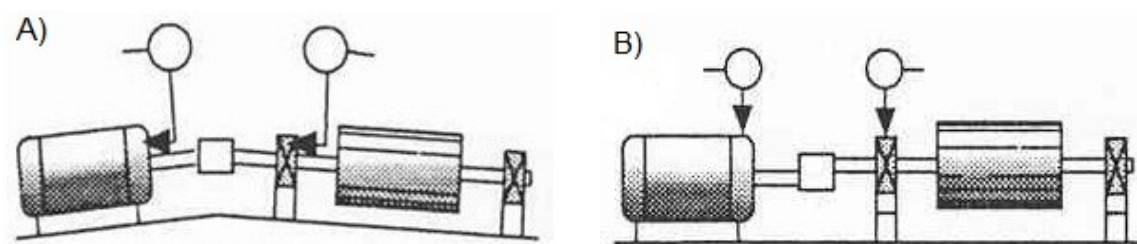
Obr. 27. Projev nevyváženosti ve vibračním spektru [9]

6.2. Špatné ustavení elektromotoru vůči vývěvě:

Mnohem pravděpodobnější závadou by mohla být nesouosost elektromotoru a vývěvy a to důsledkem špatného ustavení. Pokud by došlo o tuto závadu, která by byla úhlovou nesouosostí, projevila by se ve frekvenčním spektru vysokými hodnotami vibrací a to především na první otáčkové frekvenci a potom na jejím druhém, případně třetím násobku v axiálním směru. Kdyby byla nesouosost paralelní, jednalo by se o tzv. posunutí. Závada se ve frekvenčním spektru projevuje stejně, avšak druhý násobek otáčkové frekvence je často vyšší než u první otáčkové [9].



Obr. 28. Projev nesouososti ve vibračním spektru [9]



Obr. 29. A) úhlová nesouosost, B) paralelní nesouosost [9]

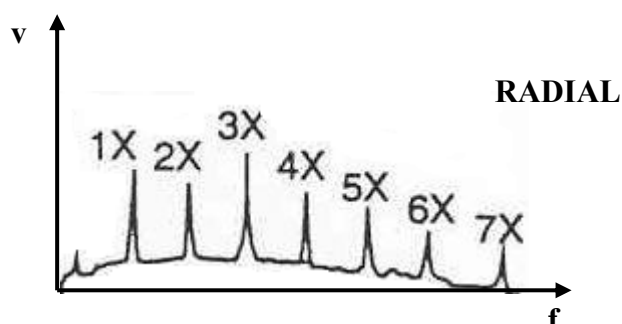
6.3. Závady ložisek:

Pokud chceme diagnostikovat ložiska, děláme to především pro včasné odhalení vznikající závady nebo jeho opotřebení. Tyto závady většinou měříme na vyšších frekvencích. V naší měřené vývěvě jsou ovšem obsaženy pouze kluzná ložiska a tudíž se zde setkáváme se závadami jako je opotřebení, problémy s vůlí a nestabilita oleje (WHIRL – WHIP).

Opotřebení, problémy s vůlí:

Opotřebení ložiska, které je už ve větším stádiu se projeví ve frekvenčním spektru celou řadou harmonických násobků otáčkové frekvence (až 10x nebo 20x). Pokud se bavíme o radiálních ložiskách, která jsou vytlučená, a tudíž může docházet k velkým výchylkám v tomto směru, může se ve spektru zobrazovat pouze jedna výrazná špička a to na první otáčkové frekvenci.

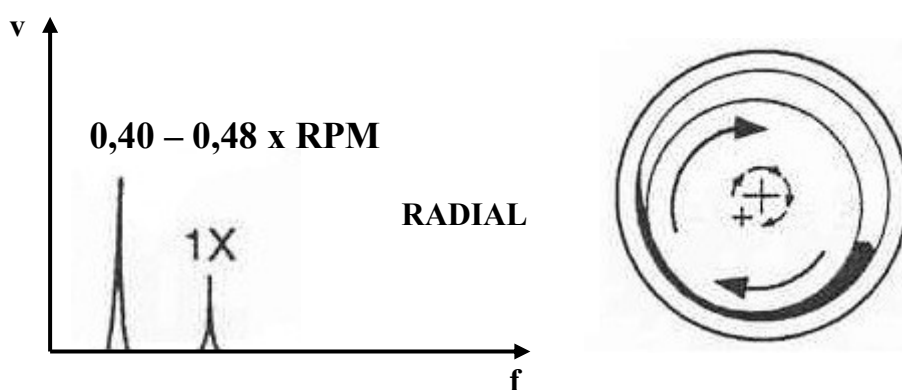
Pokud je u ložiska nadměrná vůle, může dojít k velkým vibracím, pokud zde hraje roli nějaká nevyváženost nebo nesouosost.



Obr. 30. Projev opotřebení nebo vůle ložiska ve frekvenčním spektru [9]

Nestabilita oleje – WHIRL (víření):

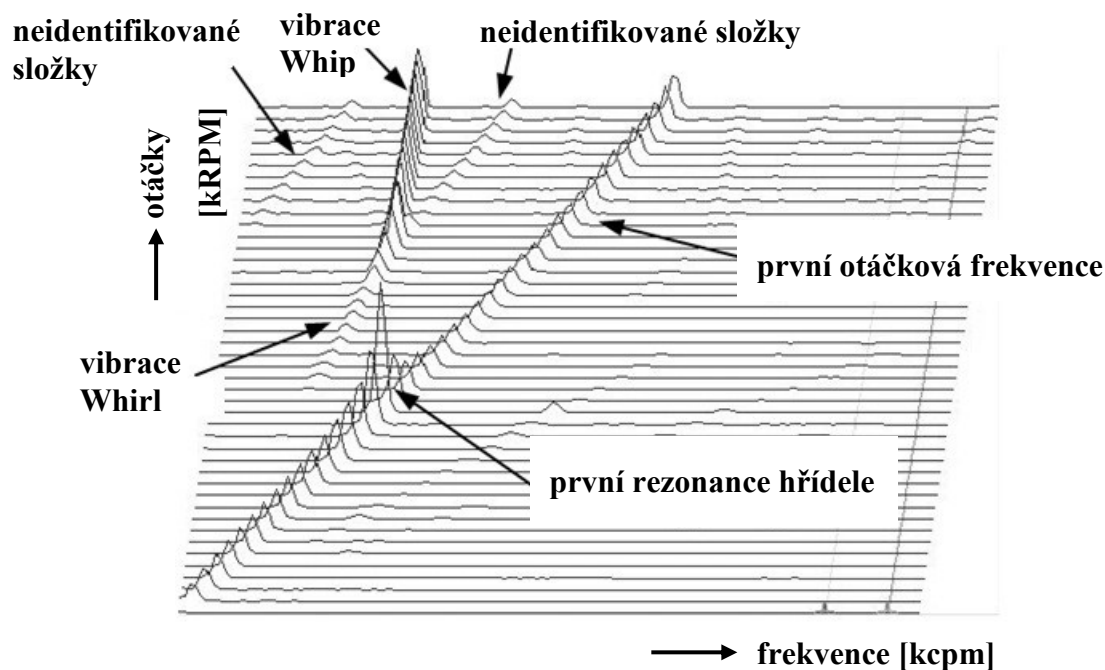
Toto je případ, kdy olejový film budí vibrace a to tím, že odchylky od normálních provozních podmínek vytvoří tzv. olejový klín, který „tlačí“ hřídel dokola v ložisku. Tím, že je *whirl* nestabilní, se zvětšují odstředivé síly, které zvyšují síly od víření. V tomto případě olej již nenese hřídel a ten se stává neustálený (frekvence víření se rovná vlastní frekvenci rotoru). Víření oleje může ovlivnit změna viskozity oleje nebo mazacího tlaku. Ve frekvenčním spektru se tato nestabilita projeví vysokou špičkou na 0,40 – 0,48 násobku otáček [9].



Obr. 31. Projev víření (*whirl*) oleje ve frekvenčním spektru [9]

Nestabilita oleje – WHIP (tlučení):

Tato nestabilita může nastat, pokud provozujeme stroj na nebo nad dvojnásobkem kritických otáček rotoru. Pokud se rotor roztočí k dvojnásobku kritických otáček, může být frekvence víření (*whirl*) blízko kritickým otáčkám rotoru a způsobí tím nadměrné vibrace, které olejový film už neunes. Tato frekvence nestability typu *whirl* se ve skutečnosti zafixuje na kritických otáčkách rotoru a nezmizí ani tehdy, když dojde ke zvyšování otáčkové frekvence na vyšší hodnoty. Pokud dojde k tomuto ději, může vést ke katastrofické poruše [9].



Obr. 32. Příklad frekvenčního spektra kluzného ložiska [10]

6.4. Elektricky vybuzené vibrace:

Elektrické stroje jsou vždy součástí nějakého rotačního mechanismu, a tudíž jsou od něj namáhány různými vibracemi, avšak nejsou to pouze vibrace od nich, ale také vibrace způsobené elektrickými vlivy. Proto se zmíním o některých závadách, které mohou těmito vlivy vzniknout. Mezi závady patří:

Nerovnoměrná vzduchová mezera, zkratované statorové plechy:

Pokud dojde k tomu, že vzduchová mezera mezi statorem a rotorem není rovnoměrná, dochází k tomu, že na rotoru nejsou síly vyvážené. To způsobuje silné směrové vibrace, které se vyskytují na dvojnásobku síťové frekvence což je 100Hz. Když bychom se bavili o indukčních motorech, tak rozdíly vzduchové mezery nemají překročit 5%. Z důvodu magnetické přitažlivosti, která je závislá na vzdálenosti mezery mezi statorem a rotorem, může i malá výchylka vybudit relativně velké vibrace [9].

Statory jsou vyrobeny ze statorových plechů, které jsou vzájemně izolovány. Pokud dojde k porušení, dochází k místnímu ohřevu, což může způsobit deformaci statoru. Tato deformace má za následek výskyt vyšší úrovně vibrací, které se projeví také na dvojnásobku síťové frekvence, jelikož je úzce spojena s vlivem statické mezery.

Excentrický rotor:

Tato závada souvisí opět se vzduchovou mezerou, projeví se ve spektru na dvojnásobku síťové frekvence a je obklopena kolem sebe postranními pásy s frekvencí průchodu pólů (F_p) a také postranními pásmy okolo frekvence otáčkové. Velikost frekvence průchodu pólů F_p je nízká, její hodnota je kolem 0,3 – 2 Hz a je dána součinem skluzové frekvence a počtem pólů [9].

Poškození rotoru:

Za poškození rotoru můžeme považovat prasklé nebo zlomené rotorové tyče, jejich špatné spoje s prstenci, případně zkratované rotorové plechy. Tyto poškození mohou způsobovat vysoké vibrace na otáčkové frekvenci rotoru, které mají postranní pásma od průchodu pólů F_p . Tyto vibrace i s postranními pásmy se mohou opakovat až do pěti násobku otáčkové frekvence.

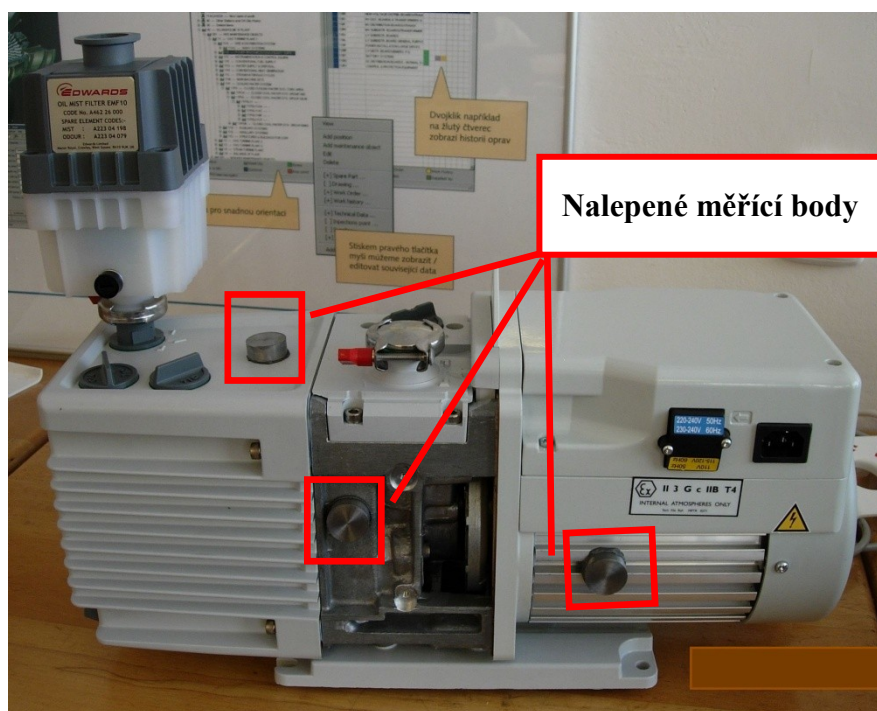
Pokud jsou uvolněné nebo nespojené rotorové tyče, jsou tyto projevy indikovány postranními pásmy kolem dvojnásobku síťové frekvence, kolem frekvence průchodu rotorových tyčí (RBPF), případně na jejích harmonických násobcích. Hodnota této frekvence se vypočítá vynásobením otáček s počtem tyčí. Často to způsobí vysoké úrovně na dvojnásobku RBPF a pouze malou amplitudu na násobku RBPF [9].

7 Měření vibrací na vývěvě RV 12

Samotné měření zkoušené vývěvy jsme prováděli dvojí. Jedno měření se konalo na vývěvě, kterou nám firma Edwards poskytla na katedru a naším úkolem bylo ji proměřit a pokusit se zjistit pomocí vibrační techniky jaké nedostatky tato vývěva skrývá.

Měření tedy probíhalo následovně. Na vývěvu jsme nalepili měřící body, které musely být z magnetického materiálu, abychom k nim mohli připevnit snímač vibrací. Body jsme lepili z toho důvodu, abychom získali přesnější výsledky hodnot vibrací a nedocházelo k nějakému zkreslení. Dva měřící body byly nalepeny na samotné tělo vývěvy, jeden z boku vývěvy (horizontální směr) a druhý z vrchu vývěvy (vertikální směr). Další bod byl nalepen na samotný elektromotor, abychom mohli zjistit případné vibrace buzené elektrickou částí vývěvy. Vývěvu jsme nechali zhruba hodinku v provozu, abychom ji zahřáli na určitou teplotu, a následně jsme na jednotlivé nalepené body připevnili pomocí magnetu snímač

vibrací a zahájili tím samotné měření vývěvy. Snímač, kterým byla vývěva měřena, byl jednoosý, a proto jsme prováděli měření v každé rovině vývěvy zvlášť.



Obr. 33. Ukázka nalepených bodů na vývěvě

Naše další měření proběhlo přímo v závodě Edwards v Lutíně. Zde probíhalo měření rozsáhlejšího typu, jelikož jsme měli nachystané tři vývěvy, které neprošly zkušebním testem a jednu vývěvu, která byla naopak dobrá a mohli jsme pomocí ní porovnávat vývěvy „špatné“. Jelikož na vývěvách, které jsme měřili v závodě, nemohly být jednotlivé body nalepeny z důvodu jejího dalšího použití a materiál z kterého je vyrobena je nemagnetický, museli jsme vyrobit na vstupní hrdlo vývěvy zátku z magnetického materiálu, abychom mohli opět pomocí magnetu čidlo připevnit na měřenou vývěvu a uskutečnit tak měření. Dalším pozitivem bylo použití tříosého snímače vibrací, kdy nám stačil pouze jeden měřící bod k tomu, abychom naměřili hodnoty ve všech rovinách a to jak v axiální, tak i v horizontální a vertikální. Měřicí přístroj, kterým jsme prováděli jednotlivá měření, jsme měli od firmy Adash, která se zabývá diagnostikou strojů.

7.1. Měřicí přístroje a jejich vybavení:

Adash A4400 - VA4Pro

Sběrač dat, analyzátor, vyvažovačka, měření doběhů, záznam vibrací - vše v jednom přístroji.

Současné měření 4 kanály AC, 4 kanály DC a 1 tachometru.

Hlavní funkce přístroje:

- 25 600 čar FFT, 24 bitový A/D převodník
- paralelní signálové procesory pro nejrychlejší zpracování dat
- záznam 35 hodin vibrací do paměti pro 4 kanály a rozsah 25 600 Hz

Třiosý snímač vibrací (akcelerometr) byl použit typ A115-1A, který je dodáván firmou CTC.

Popis snímače:

Nízkonákladový třiosý akcelerometr, konektor / kabel, 100 mV / g

Citlivost: 100 mV / g

Frekvenční odezva (± 3 dB): 60-390,000 CPM

Dynamický rozsah: ± 50 g, vrchol

Max. teplota: 121 ° C

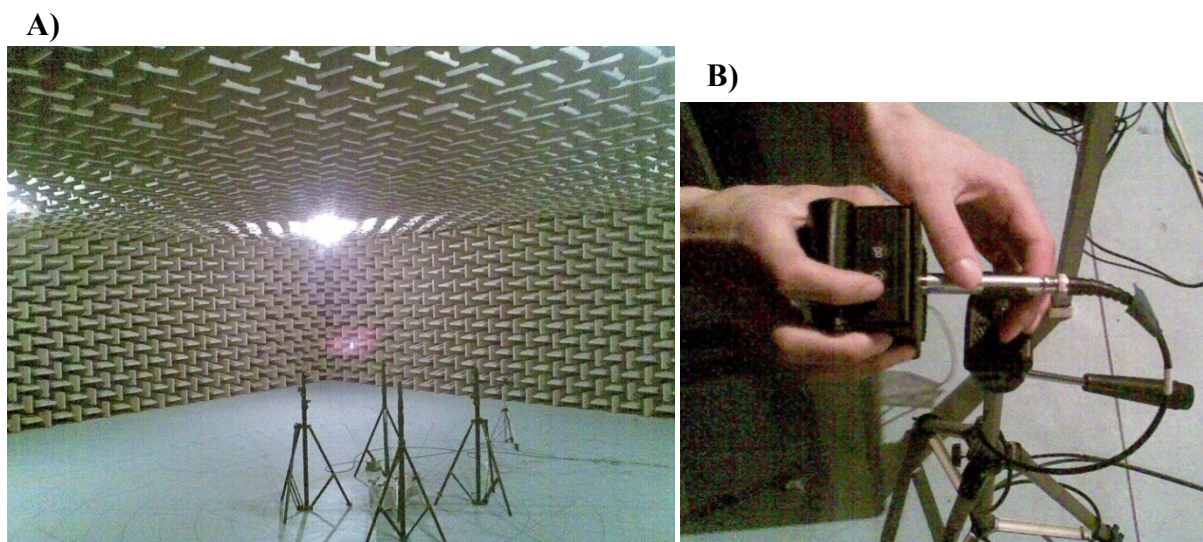


Obr. 34. Analyzátor vibrací Adash A4400-VA4, třiosý snímač vibrací [13]

8 Měření hluku na vývěvě RV 12

Tak jako jsme prováděli měření vibrací na vývěvě, podařilo se nám vývěvu změřit také po stránce hluku ve školní bezdozvukové komoře. Na měřenou vývěvu byl namontován hlučnější motor, který nám firma Edwards dodala, a bylo provedeno měření. Bezdozvuková komora, kde se měření konalo, má ze všech bočních stěn a stropu připevněné metr dlouhé jehlany z tvrzeného „pěnového“ materiálu, které slouží k pohlcování zvuku. Ještě před tím, než jsme si připravili vše potřebné, abychom mohli provést toto měření v komoře, nechali jsme vývěvu v provozu, aby došlo k zahřátí. Mezitím jsme si připravili měřící prostředí v komoře.

Před samotným měřením jsme provedli kalibraci mikrofону a nastavení měřící techniky. Dále jsme pomocí stojanů vytvořili pomyslnou krychli o rozměru zhruba jednoho metru krychlového a ve spodní části uprostřed této krychle jsme umístili naši měřenou vývěvu. Tím jak jsme měli vytvořeny pomyslné stěny krychle pomocí stojanů, jsme na každé ploše této krychle plynulým pohybem od shora dolů a zpět prováděli měření pomocí mikrofону, který snímal hluk vývěvy. Každá stěna byla měřena dvakrát, abychom dosáhli přesnějších výsledků a vyloučili tím případné nepřesnosti a šum, který jsme mohli způsobit. Po změření vývěvy jsme na závěr provedli změření hluku prostředí v komoře a to tím, že jsme místo vývěvy umístili do stejného místa mikrofón.



Obr. 35. A) bezdozvuková komora, B) kalibrace mikrofónu

8.1. Měřicí přístroje:

- Mikrofon: Brüel a Kjaer 4189-A-021 půlpalcový mikrofon do volného akustického pole, jmenovitá citlivost 50mV/Pa
- Analyzátor: 4kanálový B-K typ 3109
- Software: pulse labshop 12.0



Obr. 36. Mikrofon Brüel a Kjaer 4189

9 Výsledky měření

U měření vibrací, které jsme prováděli jak ve škole tak i přímo ve firmě Edwards byla použita jiná měřicí technika a měřeny jiné vývěvy, proto jsme naměřili i různé hodnoty vibrací. Na školní vývěvě, kterou jsme považovali za dobrou, a tudíž podle ní jsme porovnávali ostatní vývěvy, jsme naměřili tyto hodnoty:

Hodnoty RMS (mm/s) – efektivní hodnota vibrací rychlosti.

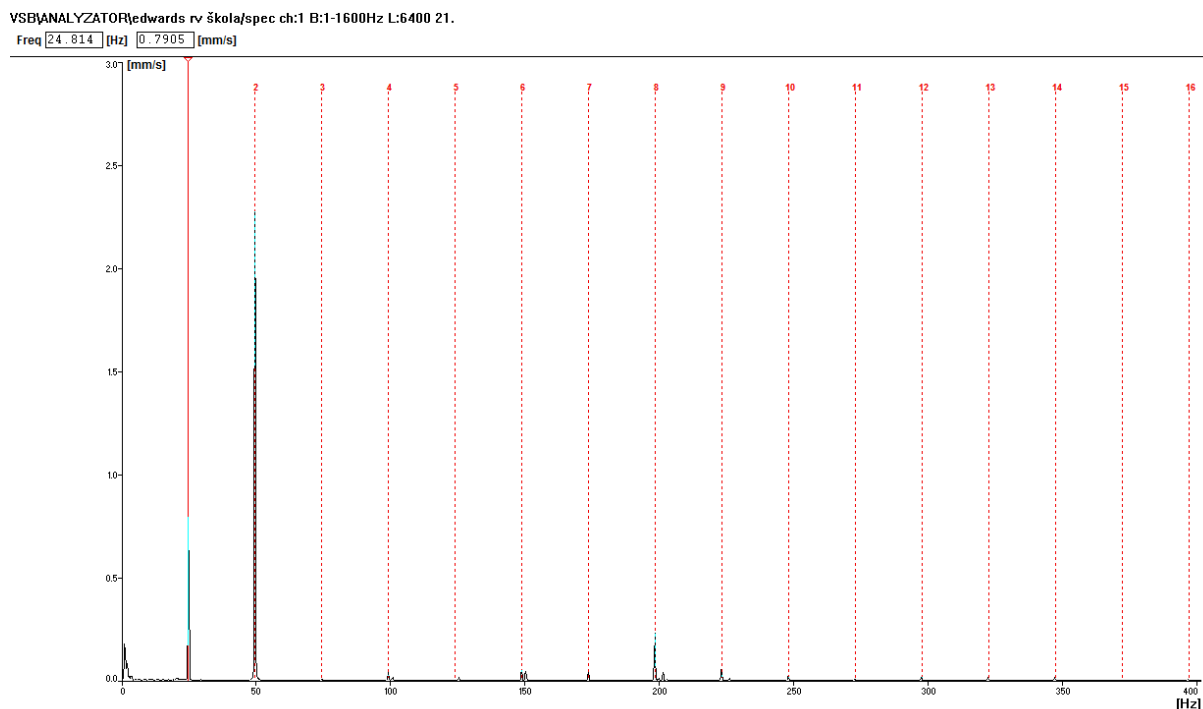
Tab 3. Naměřené hodnoty RMS vibrací na školní vývěvě

RMS (mm/s)		
shora vývěvy (vertikal)	na těle vývěvy (horizontal)	na motoru (horizontal)
0,97	1,78	2,54

Tyto efektivní hodnoty velikosti vibrací nám sdělují pouze, v kterém směru nebo měřené části bychom se měli zaměřit na nějaký problém nebo závadu. Více nám poví a odhalí jednotlivá spektra měřených rovin vývěvy. Jelikož bylo při měření na školní vývěvě použito jednoosého snímače, prováděli jsme měření pouze ve směru nalepených bodů.

9.1. Výsledky naměřených hodnot ve vibračních spektrech:

První vibrační spektrum je z měřeného bodu, který byl nalepen shora vývěvy, tudíž jej můžeme považovat jako směr vertikální. V tomto spektru je dominantní špička na dvojnásobku otáčkové frekvence, která je na zhruba 50 Hz. Tato špička je příčinou špatného ustavení elektromotoru a samotné vývěvy. Špička, která se objevuje na první otáčkové frekvenci je příčinou nevývahy, která se nachází u všech rotačních strojů. I když je zde použita pružná (gumová) spojka, dochází zde k nesouososti a to pravděpodobně k paralelní, kdy dochází k přesazení konců hřídelů a tím vznikají vibrace zobrazující špičku na dvojnásobku otáčkové frekvence.

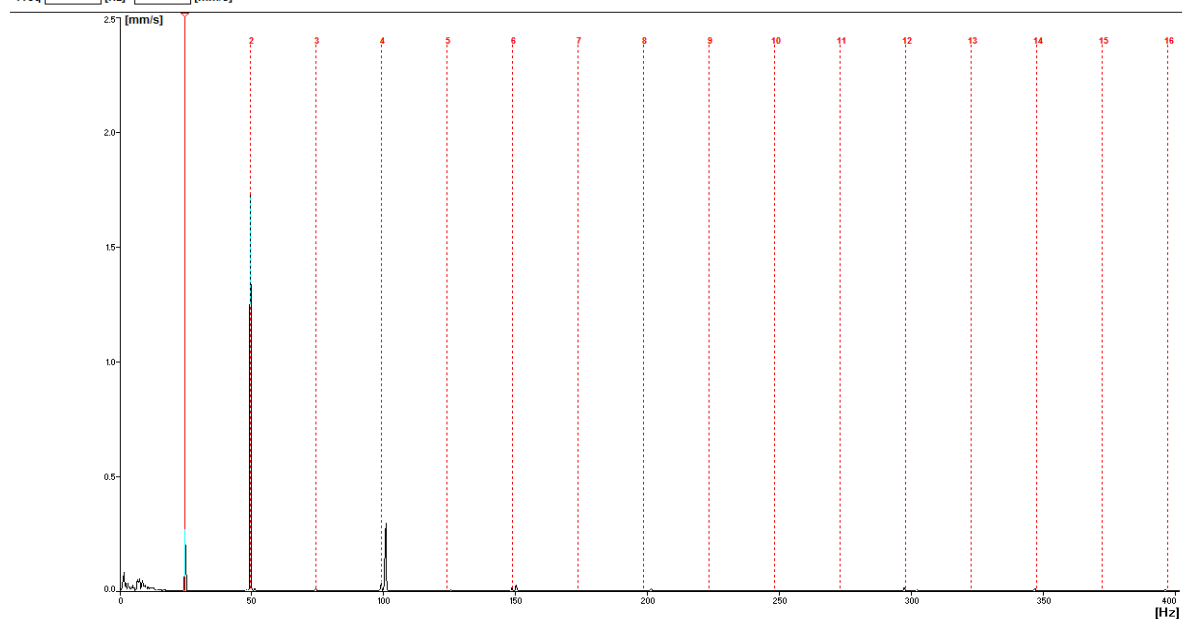


Obr. 37. Vibrační spektrum změřené ve vertikálním směru vývěvy

Ve vibračním spektru měřeném v horizontálním směru vývěvy se nám objevila také vysoká špička na dvojnásobku otáčkové frekvence, tudíž je zde špatné ustavení největším problémem. Špička, která se nám zde začíná objevovat na čtyřnásobku otáčkové frekvence, by nás mohla zmást, protože první otáčková frekvence není přesně 25 Hz, ale o něco méně a začínají špička na 100 Hz je počátkem vibrací buzených elektromotorem. Důkazem je i to, že měřený bod je nalepen blíže elektromotoru a dochází už zde k záchvěvu vibrací buzených elektricky.

VSBANALYZATOR\edwards rv škola/spec ch:1 B:1-1600Hz L:6400 21.

Freq [24.814] [Hz] [0.266] [mm/s]

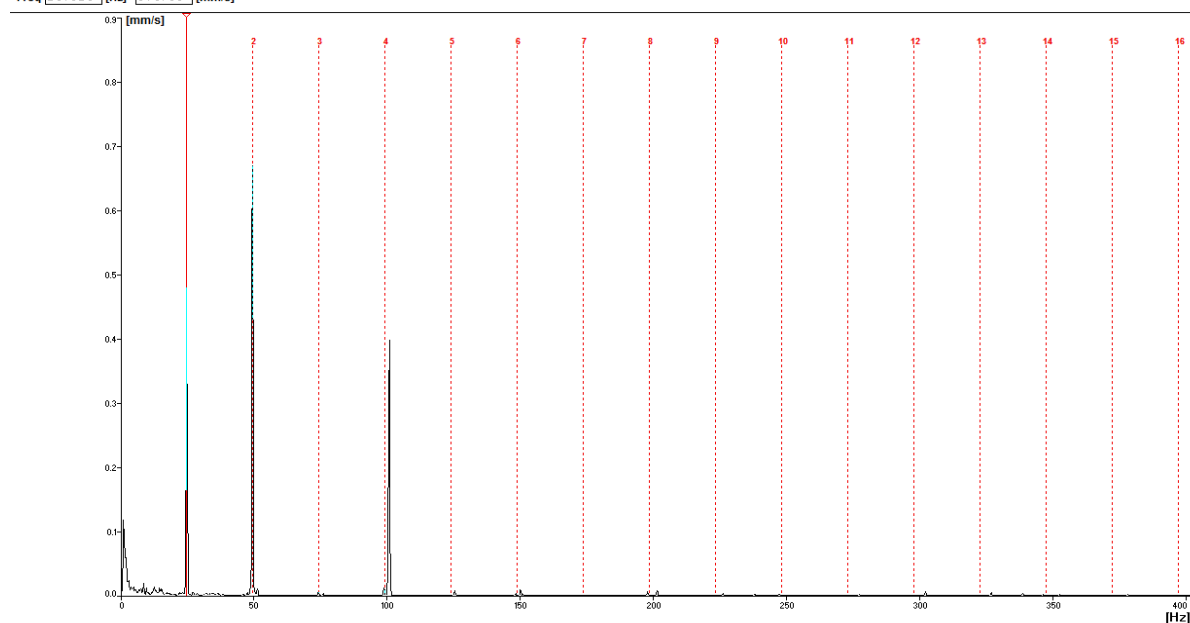


Obr. 38. Vibrační spektrum změřené v horizontálním směru vývěvy

Poslední měřený bod je nalepen přímo na elektromotoru z boku v horizontálním směru. Zde můžeme ve spektru vidět špičky nevývahy, špatného ustavení a především špičku, která je na hodnotě 100 Hz, což je dvojnásobek síťové frekvence (50 Hz) a důsledkem této špičky je nerovnoměrná vzduchová mezera mezi statorem a rotorem.

VSBANALYZATOR\edwards rv škola/spec ch:1 B:1-1600Hz L:6400 21.

Freq [24.814] [Hz] [0.4788] [mm/s]



Obr. 39. Vibrační spektrum změřené v horizontálním směru elektromotoru vývěvy

Dalšími výsledky měření jsou data, která jsme změřili ve firmě Edwards na čtyřech vývěvách pomocí tříosého snímače vibrací, z nichž jedna byla použita jako referenční a ostatní neprošly testem noise run, který se provádí v testovací místnosti přímo ve firmě Edwards. Kromě vývěv jako celku, jsme provedli také měření samostatných elektromotorů, které byly zdemontované z vývěv a měřeny naprázdno. K získání lepších výsledků by bylo vhodné tyto elektromotory měřené naprázdno opatřit nějakou zátěží, která by se dala plynule regulovat. U těchto vývěv byly naměřeny tyto hodnoty:

Hodnoty RMS (mm/s) – efektivní hodnota vibrací rychlosti.

Tab 4. *Naměřené hodnoty RMS vibrací vývěv ve firmě Edwards*

směr měření:	RMS (mm/s)		
	x - axial	y - horizontal	z- vertikál
dobrá vývěva	1,89	4,84	1,21
špatná vývěva 1	1,39	6,87	2,6
špatná vývěva 2	1,2	6,87	2,66
špatná vývěva 3	1,62	11,95	3,41

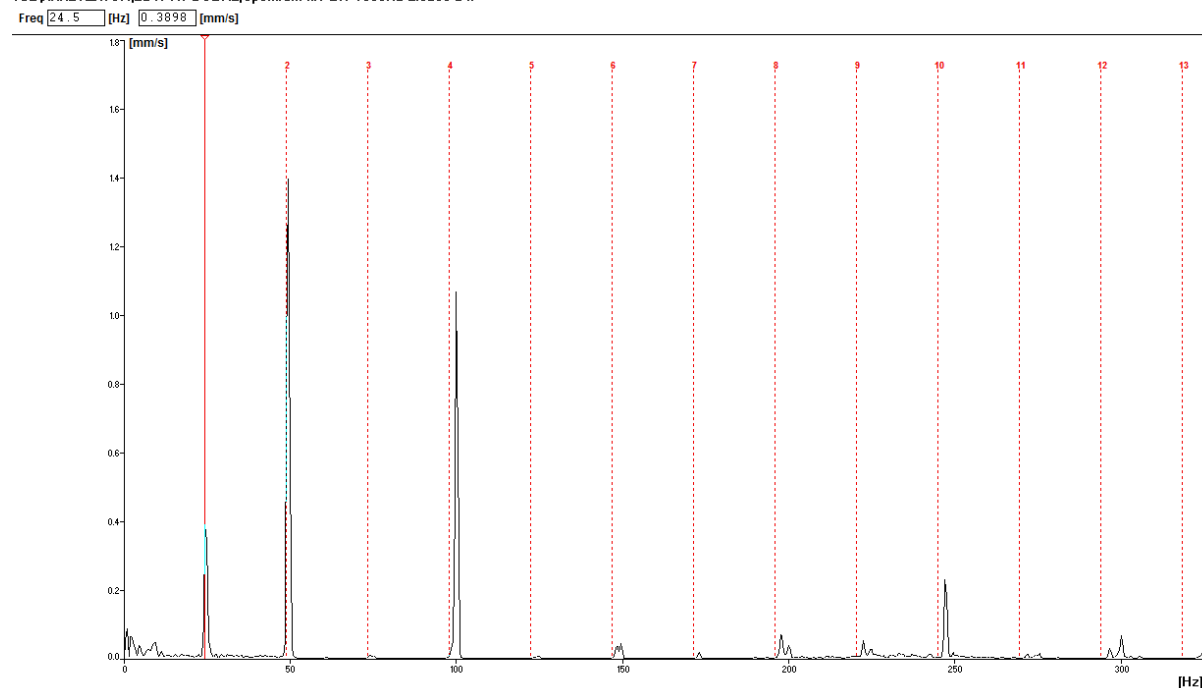
Tab 5. *Naměřené hodnoty RMS vibrací elektromotoru ve firmě Edwards*

směr měření:	RMS (mm/s)		
	x - horizontal	y - vertikál	z- axial
elektromotor 1	1,04	1,87	0,53
elektromotor 2	0,52	1,92	0,48
elektromotor 3	1,38	7,01	0,92

Vibrační spektra, která jsme získali měřením, jsou podobného charakteru jako spektra u vývěvy školní, a proto zde uvedu pouze vibrační spektra dobré vývěvy a zbytek spekter vývěvy, která měla nejhorší hodnoty, bude zahrnut (viz. přílohy 15 – 18). U všech vývěv se nám objevuje malá špička na první otáčkové frekvenci, která jak už jsem zmiňoval je příčinou nevývahy. Dominantní špičkou je její velikost na dvojnásobku otáčkové frekvence a další vysokou špičkou je opět dvojnásobek síťové frekvence, což je hodnota 100 Hz. Z toho nám vyplývá, že u všech námi měřených vývěv je hlavním problémem špatné ustavení a další problém se týká elektromotorů a ten bude pravděpodobně způsoben nerovnoměrnou vzduchovou mezerou mezi statorem a rotorem.

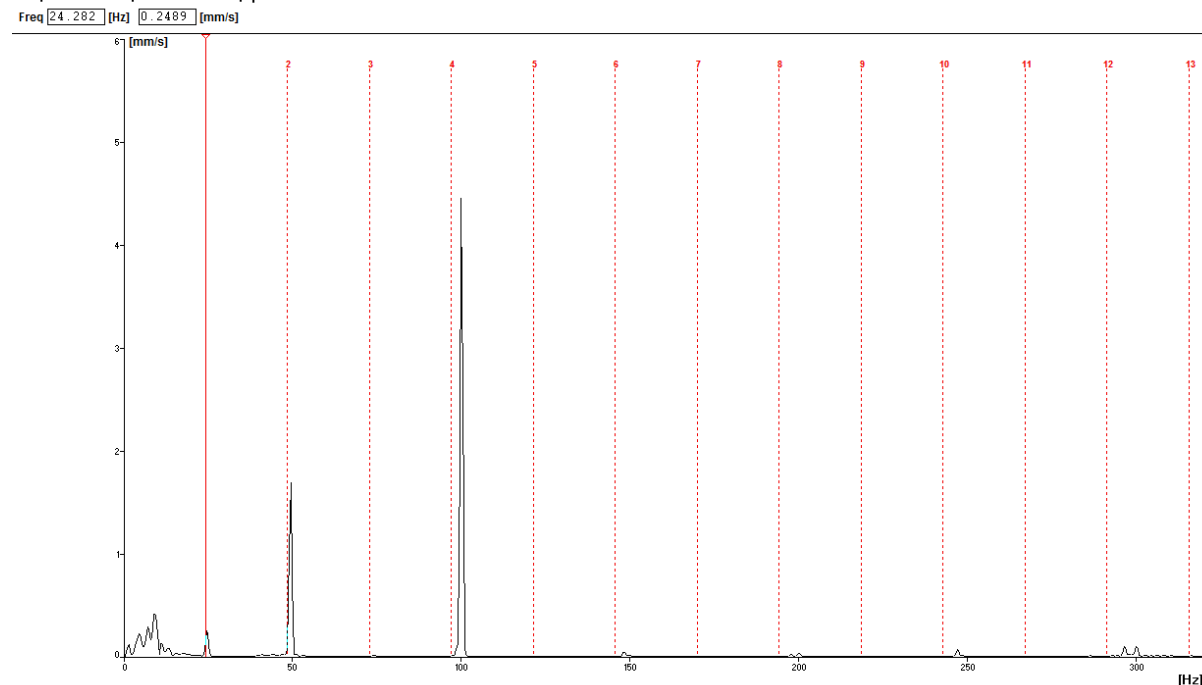
Vibrační spektra dobré vývěvy v jednotlivých směrech:

VSB\ANALYZATOR\EDW-RV-DOBRE/spektrum k:1 B:1-1600Hz L:3200 24.



Obr. 40. *Vibrační spektrum vývěvy měřené v axiálním směru, je zde vidět vysoká špička na dvojnásobku otáčkové frekvence a špička na 100 Hz*

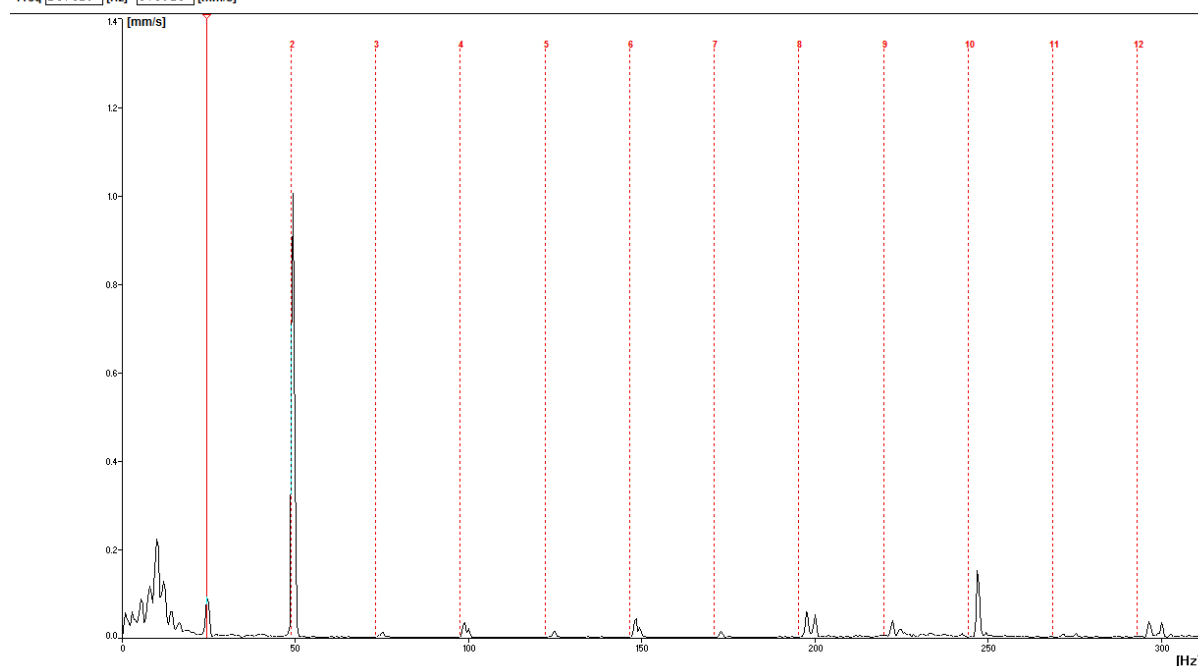
VSB\ANALYZATOR\EDW-RV-DOBRE/spektrum k:2 B:1-1600Hz L:3200 24.



Obr. 41. *Vibrační spektrum vývěvy měřené v horizontálním směru, zde je vidět dominantní špička na dvojnásobku síťové frekvence 100 Hz*

VSBANALYZATOR EDW-RV-DOBRE/spektrum k:3 B:1-1600Hz L:3200 24.

Freq 24.429 [Hz] 0.0916 [mm/s]



Obr. 42. Vibrační spektrum vývěvy měřené ve vertikálním směru, opět dvojnásobek otáčkové frekvence

9.2. Výsledky z měření hluku vývěvy:

Jak už bylo zmiňováno, měření jsme na vývěvě provedli dvakrát a změřené hodnoty jsme zprůměrovali. Pomocí několika vzorečků jsme z těchto zprůměrovaných hodnot vypočítali průměrné hladiny akustických tlaků L_p v dBA, hladiny akustického výkonu L_w v dBA, celkovou hladinu z dílčích hladin akustických tlaků v dBA a celkovou hladinu akustického výkonu v dBA. Všechny změřené hodnoty byly váženy váhovým filtrem typu A, je nejpoužívanějším v praxi.

Tab 6. Hodnoty korekcí váhového filtru A v dB pro jednotlivé frekvence

Frekvence (Hz)	korekce (dB)	Frekvence (Hz)	korekce (dB)	Frekvence (Hz)	korekce (dB)
20	-50,5	200	-10,9	2000	1,2
25	-44,7	250	-8,6	2500	1,3
31,5	-39,4	315	-6,6	3150	1,2
40	-34,6	400	-4,8	4000	1
50	-30,2	500	-3,2	5000	0,5
63	-26,2	630	-1,9	6300	-0,1
80	-22,5	800	-0,8	8000	-1,1
100	-19,1	1000	0	10000	-2,5
125	-16,1	1250	0,6	12500	-4,3
160	-13,4	1600	1	16000	-6,6
				20000	-9,3

9.2.1. Použité vzorce pro výpočet jednotlivých hodnot:

Průměrná hladina akustického tlaku na měřicí ploše [12]:

$$L_p = 10 * \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1 * L_{pi}} \right]$$

N – Počet bodů zvolený na měřicí ploše

i – Číslo bodu na měřicí ploše

L_{pi} – Naměřené hodnoty jednotlivých hladin akustických tlaků

Hladina akustického výkonu zdroje hluku [12]:

$$L_w = L_{pi} + 10 * \log \left(\frac{S}{S_0} \right)$$

S – Plošný obsah měřicí plochy

S_0 – Referenční hodnota plošného obsahu měřicí plochy = 1 m²

Hladina akustického výkonu [12]:

$$L_w = 10 * \log \left(\frac{W}{W_0} \right) \rightarrow W = 10^{\frac{L_w}{10}} * 10^{-12}$$

$$W_0 = 10^{-12}$$

Pomocí předchozích vzorců jsme vypočítaly tyto hodnoty:

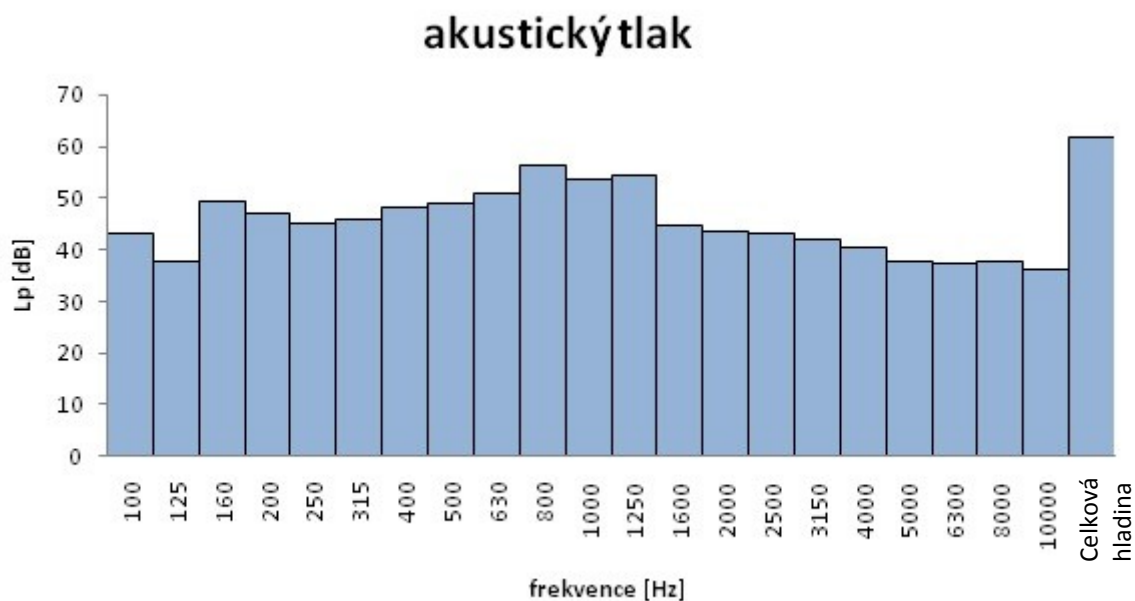
Tab 7. *Vypočítané hodnoty celkových hladin*

Celková hladina z dílčích hladin akust. tlaků [dB]	Celková hladina akustického výkonu zdroje hluku [dB]	Celková hladina z dílčích hladin akust. tlaků vážená váhovým filtrem A [dBA]	Celková hladina akustického výkonu zdroje hluku vážená váhovým filtrem A [dBA]
61,94	67,96	60,83	66,84

Tab 8. *Vypočítané hodnoty z hodnot naměřených*

frekvenční pásma [Hz]	průměrná hladina akust. tlaku [dB]	hladiny akustického výkonu zdroje hluku [dB]	průměrná hladina akust. tlaku vážená váhovým filtrem A [dBA]	hladiny akustického výkonu zdroje hluku vážené váhovým filtrem A [dBA]
100	43,1	49,11	24	30,01
125	37,58	43,59	21,48	27,49
160	49,4	55,42	36	42,02
200	47,08	53,1	36,18	42,02
250	45,29	51,3	36,69	42,7
315	45,98	51,99	39,38	45,39
400	48,34	54,36	43,54	49,56
500	49,13	55,14	45,93	51,94
630	51,08	57,09	49,18	55,19
800	56,28	62,29	55,48	61,49
1000	53,67	59,68	53,67	59,68
1250	54,33	60,34	54,93	60,94
1600	44,75	50,76	45,75	51,76
2000	43,54	49,56	44,74	50,76
2500	43,01	49,02	44,31	50,32
3150	41,82	47,83	43,02	49,03
4000	40,35	46,36	41,35	47,36
5000	37,6	43,62	38,1	44,12
6300	37,26	43,27	37,16	43,17
8000	37,54	43,55	36,44	42,45
10000	36,16	42,17	33,66	39,67

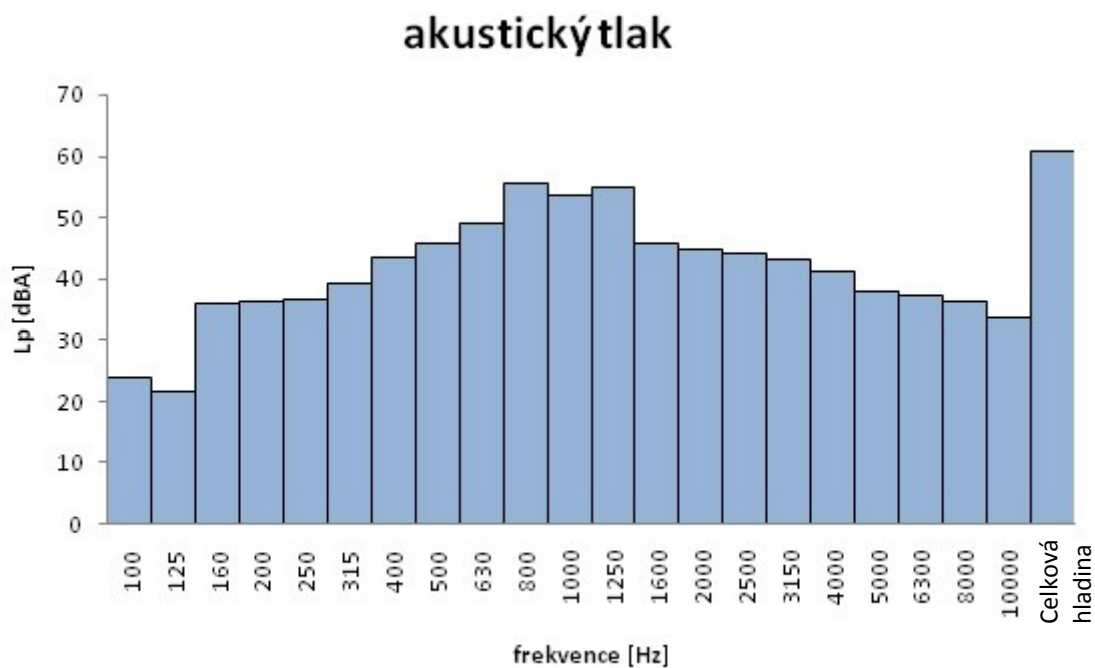
Z těchto vypočítaných hodnot jsem sestavil jednotlivé grafy jak pro hodnoty nevážené, tak pro hodnoty vážené váhovým filtrem typu A. V grafech jsou také porovnány jednotlivé hladiny akustických tlaků a výkonů s celkovými hladinami těchto veličin.



Graf 1. Jednotlivé hladiny akustických tlaků zdroje hluku



Graf 2. Jednotlivé hladiny akustických výkonů zdroje hluku



Graf 3. Jednotlivé hladiny akustických tlaků zdroje hluku vážené váhovým filtrem typu A



Graf 4. Jednotlivé hladiny akustických výkonů zdroje hluku vážené váhovým filtrem typu A

10 Závěr a shodnocení

Jak již bylo řečeno v úvodu, cílem této práce bylo Vás seznámit s teorií vakua obecně. Uvedl jsem zde, co to vakuum vlastně znamená, kde se využívá, jaké jsou používané jednotky a různé převody mezi nimi. Dále také nechybělo rozdělení jednotlivých vývěv podle jejich konstrukce, vysvětlena funkce a princip jejich činnosti, rozsah použití a některé jejich výhody a nevýhody.

V další části už se můžeme setkat s představením a bližším seznámením naší firmy Edwards, s.r.o., které se tato práce týká. Jsou zde uvedeni také ti největší konkurenti naší firmy v oblasti vakua a jeho využití. Každá firma má své silné a slabé stránky a s tím jsme se přesvědčili porovnáním parametrů vývěv jednotlivých konkurentů s vývěvou naší firmy. Z tohoto porovnání parametrů bylo zjištěno, že nejsilnějším konkurentem je firma Adixen, která má některé porovnávané parametry lepší, ale naopak některé zase horší než naše firma a jednotlivé klady a zápory porovnání parametrů jsou zobrazeny v sestrojených grafech, kde si můžeme toto porovnání prohlédnout.

Další zmínkou v této práci je vliv hluku a vibrací na lidský organismus, kdy jsem informativně uvedl některé následky, které tato negativní problematika způsobuje, a mohou být lidskému zdraví nebezpečné. Nyní se už ale dostáváme k samotné problematice vývěv, kde jsem v úvodu této části popsal jednotlivé nejdůležitější komponenty, které vývěva obsahuje, její konstrukci, princip činnosti a funkci. Následujícím bodem jsou dle její konstrukce vyjmenovány některé předpokládané závady, které mohou nastat a jaký by mohl být projev těchto příčin ve vibračním spektru.

Poslední částí je už samotné měření vibrací a to jak na vývěvě školní, tak i na vývěvách přímo ve firmě Edwards. Z těchto měření jsme získali hodnoty vibrací v jednotlivých směrech vývěv a zobrazení špiček možných závad ve vibračních spektrech. Jak už bylo zmíněno v teorii možných závad, projev skutečných příčin vibrací se shodl ve dvou bodech. První závada, která byla zobrazena dominantní špičkou ve vibračním spektru, je na dvojnásobku otáčkové frekvence (cca 50 Hz), což má za následek špatné ustavení elektromotoru s vývěvou. Tato závada je dle teorie způsobena paralelní nesouosostí, kdy jde o tzv. posunutí, u něhož hřídel vývěvy a elektromotoru nejsou souosé. Další zobrazenou špičkou vysoké hodnoty je na 100 Hz, což by nás mohlo zmást jako čtyřnásobek otáčkové, ovšem otáčková frekvence není přímo 25 Hz, ale o něco méně a námi zjištěná špička je přímo

na 100 Hz, což je dvojnásobek síťové frekvence a tudíž jsou vibrace způsobené elektrickou částí vývěvy jako celku. Závadou, která se dle teorie takhle projevuje, je nerovnoměrná vzduchová mezera mezi rotorem a statorem elektromotoru.

Co se týká odstranění těchto závad, tak elektromotory jsou už jako celek dodávány od jiné firmy a tudíž tuto závadu firma Edwards nemůže nijak ovlivnit a řešit ji může pouze s výrobcem těchto elektromotorů. Nebo může firma Edwards změnit tohoto výrobce za jiného, s kterým by se těmito závadám možná vyhnuli, ale to nelze říci stoprocentně. Naproti tomu špatné ustavení a tím vzniklé vibrace už firma Edwards odstranit může, pokud se ovšem můžeme spolehnout na přesnost výroby a díry v přírubě elektromotoru a vývěvy jsou souosé. Řešením by bylo věnovat samotnému ustavení elektromotoru a vývěvy více času a přesnosti než je nyní, aby byly hřídele ve stejné ose, i když je zde použita pružná spojka, která by některé nepřesnosti pochytit mohla.








Jako orientační měření jsme provedli měření hlučnosti naší vývěvy ve školní bezdozvukové komoře a pomocí naměřených hodnot jsme spočítali celkovou hladinu akustického tlaku, která má hodnotu 61,94 dB a celkovou hladinu akustického výkonu zdroje hluku, která je 67,96 dB. Pro nás je objektivnějším údajem hodnota akustického výkonu zdroje hluku, protože akustický tlak se mění v závislosti na vzdálenosti mikrofону od zdroje hluku. Tyto hodnoty jsme taky přepočítali s použitím váhového filtru typu A a akustický tlak klesl na hodnotu 60,83 dBA a akustický výkon na 66,84 dBA. Jelikož je měření pouze orientační, tak jsem neprováděl korekce hluku pozadí v měřící místnosti.

Tato problematika byla pro mě velmi zajímavá a přínosná, dozvěděl jsem se spoustu věcí, které se týkají vakua, že existuje mnoho typů vývěv, které pracují každá na jiném principu a jsou jinak konstrukčně řešeny a především samotná měření jak vibrací, tak i hluku a jejich vyhodnocování byly přínosem některých nových informací a znalostí týkajících se této problematiky.

11 Použitá literatura

- [1] *Vakuová technika, získávání a měření vakua, využití vakuových technologií*, Katedra obecné a anorganické chemie, Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice, Ing. Milan Erben, Ph.D., 2008
- [2] http://www.janoud.cz/sub/jcueltech/09a_Zaklady_vakuove_technologie.pdf
- [3] http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-str-09.04_vyvevy.pdf
- [4] Prezentace předmětu teorie jakosti v údržbě, Ing. David Vykydal: *Analýza hodnoty pro zákazníka*, management jakosti
- [5] SMETANA, Ctirad a kolektiv. *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika. 1998. 188 s. ISBN 80-901936-2-5.
- [6] http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008_sekce/pdf/1_3/Fisarova_Zuzana_CL.pdf
- [7] *Hluk v prostředí, problematika a řešení*, RNDr. Miloš Liberko, [on line]. [cit. 2009-11-05] Dostupný z www:
http://osha.europa.eu/fop/czech-republic/cs/publications/files/hluk_text.pdf
- [8] <http://www.bozpinfo.cz/priloha/vibrace.pdf>
- [9] Prezentace Dr. Ing. Jan Biloš:
http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_4b.pdf
- [10] Prof. Ing. Jiří Tůma, CSc, *Diagnostika strojů*, 1. Vydání, VŠB-TU Ostrava, 2009
- [11] Podkladové materiály firmy Edwards, s.r.o., Jana Sigmunda 300, 783 49 Lutín
- [12] Prezentace Ing. Michal Weisz: *Experimentální metody v mechanice - akustika*
- [13] <http://www.adash.cz/>
- [14] <http://www.oerlikon.com/leyboldvacuum/products/index.aspx?l=1>
- [15] http://www.buschusa.com/fileadmin/Companies/USA/PDFs/Busch_USA_Line_Card.pdf

12 Přílohy

Výrobce								
Model		2015SD	RV 12	TRIVAC D 16 B	GLD-201	Penta 20	DS 302	DUOSEAL® 1376
Sací výkon	m ³ /h	15	12	16,5	12	22	11,6	10,6
Maximální hodnota vakua	mbar	0,00013	0,002	0,002	0,00067	0,005	0,002	0,00013
Výkon motoru	kW	0,45	0,45	0,75	0,75	0,99	0,45	0,75
Verze 50/60 Hz		ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
Hmotnost	kg	27	29	26	28	43	25	71
Hlučnost	[dBA]	57	48	54	72	58	55	58
Cena	\$	2930	3180	3299	2980	4597	2489	3991

Příloha 1. Tabulka jednotlivých parametrů vývěv konkurence s Edwardsem

	Váha atributu	Váha parametru	Výrobce		EDWARDS		VARIAN		ULVAC		PFEIFFER		adixen <small>by Akord Vacuum Technology</small>		cerlikon <small>leybold vacuum</small>		WELCH	
					Model		RV 12		DS 302		GLD-201		Penta 20		2015SD		TRIVAC D 16 B	
Atributy jakosti	70	32	Sací výkon	m³/h	12	7,17	11,6	6,5	12	7,17	22	10	15	8,25	16,5	9,08	10,6	5,92
		30	Maximální hodnota	mbar	0,002	8,50	0,002	8,5	0,0007	9,25	0,005	7,25	1E-04	10	0,002	8,50	0,0001	10
		12	Výkon motoru	kW	0,45	10	0,45	10	0,75	7,58	0,99	5,67	0,45	10	0,75	7,58	0,75	7,58
		8	Hmotnost	kg	29	7,92	25	10	28	8,33	43	6,17	27	8,67	26	9,25	71	4,42
		18	Hlučnost	[dBA]	48	10	55	8,15	72	4,50	58	7,58	57	8,17	54	8,58	58	7,58
Σ		100																
Atributy ceny	30	42	Cena	\$	3180	7,83	2489	10	2980	8,50	4597	4,83	2930	9,17	3299	7,25	3991	5,75
		58	očekávané náklady vzhledem k dalšímu provozu (servis, atd)			9		9		9		7		8		9		7

Příloha 2. Tabulka zprůměrovaných hodnot jakosti pro zákazníka

Znaky jakosti	Váha znaků	Náš produkt	Produkt konkurence	Poměr (3)/(4)	Dílčí ukazatel jakosti (2)*(5)	Poměr (4)/(3)	Dílčí ukazatel jakosti (2)*(7)
Sací výkon	32,0	7,17	6,5	1,10	35,30	0,91	29,01
Maximální hodnota vakua	30,0	8,5	8,5	1,00	30,00	1,00	30,00
Výkon motoru	12,0	10	10	1,00	12,00	1,00	12,00
Hmotnost	8,0	7,92	10	0,79	6,34	1,26	10,10
Hlučnost	18,0	10	8,15	1,23	22,09	0,82	14,67
Celkem bodů	100						
Ukazatel jakosti vnímané zákazníkem					1,06		0,96
Míra spokojenosti zákazníka s jakostí		8,48	8,10				

Příloha 3. Porovnání znaků jakosti firmy Edwards s firmou Varian

Atribut ceny (1)	Váha atributu (2)	Náš produkt (3)	Produkt konkurence (4)	Poměr (3)/(4) (5)
Cena	42,0	7,83	10	0,78
očekávané náklady vzhledem k dalšímu provozu (servis, atd)	58,0	9	9	1,00
Celkem bodů	100			
Míra spokojenosti zákazníků s cenou		8,5086	9,42	
Ukazatel míry cenové konkurenční schopnosti	0,90			
Ukazatel relativní úrovně ceny	1,11			

Příloha 4. Porovnání atributu ceny firmy Edwards s firmou Varian

Znaky jakosti	Váha znaků	Náš produkt	Produkt konkurence	Poměr (3)/(4)	Dílčí ukazatel jakosti (2)*(5)	Poměr (4)/(3)	Dílčí ukazatel jakosti (2)*(7)
Sací výkon	32,0	7,17	7,17	1,00	32,00	1,00	32,00
Maximální hodnota vakua	30,0	8,5	9,25	0,92	27,57	1,09	32,65
Výkon motoru	12,0	10	7,58	1,32	15,83	0,76	9,10
Hmotnost	8,0	7,92	8,33	0,95	7,61	1,05	8,41
Hlučnost	18,0	10	4,5	2,22	40,00	0,45	8,10
Celkem bodů	100						
Ukazatel jakosti vnímané zákazníkem					1,23		0,90
Míra spokojenosti zákazníka s jakostí		8,48	7,46				

Příloha 5. Porovnání znaků jakosti firmy Edwards s firmou Ulvac

Atribut ceny (1)	Váha atributu (2)	Náš produkt (3)	Produkt konkurence (4)	Poměr (3)/(4) (5)
Cena	42,0	7,83	8,5	0,92
očekávané náklady vzhledem k dalšímu provozu (servis, atd)	58,0	9	9	1,00
Celkem bodů	100			
Míra spokojenosti zákazníků s cenou		8,5086	8,79	
Ukazatel míry cenové konkurenční schopnosti	0,97			
Ukazatel relativní úrovně ceny	1,03			

Příloha 6. Porovnání atributu ceny firmy Edwards s firmou Ulvac

Znaky jakosti	Váha znaků	Náš produkt	Produkt konkurence	Poměr (3)/(4)	Dílčí ukazatel jakosti (2)*(5)	Poměr (4)/(3)	Dílčí ukazatel jakosti (2)*(7)
Sací výkon	32,0	7,17	10	0,72	22,94	1,39	44,63
Maximální hodnota vakua	30,0	8,5	7,25	1,17	35,17	0,85	25,59
Výkon motoru	12,0	10	5,67	1,76	21,16	0,57	6,80
Hmotnost	8,0	7,92	6,17	1,28	10,27	0,78	6,23
Hlučnost	18,0	10	7,58	1,32	23,75	0,76	13,64
Celkem bodů	100						
Ukazatel jakosti vnímané zákazníkem					1,13		0,97
Míra spokojenosti zákazníka s jakostí		8,48	7,91				

Příloha 7. Porovnání znaků jakosti firmy Edwards s firmou Pfeiffer

Atribut ceny (1)	Váha atributu (2)	Náš produkt (3)	Produkt konkurence (4)	Poměr (3)/(4) (5)
Cena	42,0	7,83	4,83	1,62
očekávané náklady vzhledem k dalšímu provozu (servis, atd)	58,0	9	7	1,29
Celkem bodů	100			
Míra spokojenosti zákazníků s cenou		8,5086	6,0886	
Ukazatel míry cenové konkurenční schopnosti	1,40			
Ukazatel relativní úrovně ceny	0,72			

Příloha 8. Porovnání atributu ceny firmy Edwards s firmou Pfeiffer

Znaky jakosti	Váha znaků	Náš produkt	Produkt konkurence	Poměr (3)/(4)	Dílčí ukazatel jakosti (2)*(5)	Poměr (4)/(3)	Dílčí ukazatel jakosti (2)*(7)
Sací výkon	32,0	7,17	8,25	0,87	27,81	1,15	36,82
Maximální hodnota vakua	30,0	8,5	10	0,85	25,50	1,18	35,29
Výkon motoru	12,0	10	10	1,00	12,00	1,00	12,00
Hmotnost	8,0	7,92	8,67	0,91	7,31	1,09	8,76
Hlučnost	18,0	10	8,17	1,22	22,03	0,82	14,71
Celkem bodů	100						
Ukazatel jakosti vnímané zákazníkem					0,95		1,08
Míra spokojenosti zákazníka s jakostí		8,48	9,00				

Příloha 9. Porovnání znaků jakosti firmy Edwards s firmou Adixen

Atribut ceny (1)	Váha atributu (2)	Náš produkt (3)	Produkt konkurence (4)	Poměr (3)/(4) (5)
Cena	42,0	7,83	9,17	0,85
očekávané náklady vzhledem k dalšímu provozu (servis, atd)	58,0	9	8	1,13
Celkem bodů	100			
Míra spokojenosti zákazníků s cenou		8,5086	8,4914	
Ukazatel míry cenové konkurenční schopnosti	1,00			
Ukazatel relativní úrovně ceny	1,00			

Příloha 10. Porovnání atributu ceny firmy Edwards s firmou Adixen

Znaky jakosti	Váha znaků	Náš produkt	Produkt konkurence	Poměr (3)/(4)	Dílčí ukazatel jakosti (2)*(5)	Poměr (4)/(3)	Dílčí ukazatel jakosti (2)*(7)
Sací výkon	32,0	7,17	9,08	0,79	25,27	1,27	40,52
Maximální hodnota vakua	30,0	8,5	8,5	1,00	30,00	1,00	30,00
Výkon motoru	12,0	10	7,58	1,32	15,83	0,76	9,10
Hmotnost	8,0	7,92	9,25	0,86	6,85	1,17	9,34
Hlučnost	18,0	10	8,75	1,14	20,57	0,88	15,75
Celkem bodů	100						
Ukazatel jakosti vnímané zákazníkem					0,99		1,05
Míra spokojenosti zákazníka s jakostí		8,48	8,68				

Příloha 11. Porovnání znaků jakosti firmy Edwards s firmou Oerlikon Leybold

Atribut ceny (1)	Váha atributu (2)	Náš produkt (3)	Produkt konkurence (4)	Poměr (3)/(4) (5)
Cena	42,0	7,83	7,25	1,08
očekávané náklady vzhledem k dalšímu provozu (servis, atd)	58,0	9	9	1,00
Celkem bodů	100			
Míra spokojenosti zákazníků s cenou		8,5086	8,265	
Ukazatel míry cenové konkurenční schopnosti	1,03			
Ukazatel relativní úrovně ceny	0,97			

Příloha 12. Porovnání atributu ceny firmy Edwards s firmou Oerlikon Leybold

Znaky jakosti	Váha znaků	Náš produkt	Produkt konkurence	Poměr (3)/(4)	Dílčí ukazatel jakosti (2)*(5)	Poměr (4)/(3)	Dílčí ukazatel jakosti (2)*(7)
Sací výkon	32,0	7,17	5,92	1,21	38,76	0,83	26,42
Maximální hodnota vakua	30,0	8,5	10	0,85	25,50	1,18	35,29
Výkon motoru	12,0	10	7,58	1,32	15,83	0,76	9,10
Hmotnost	8,0	7,92	4,42	1,79	14,33	0,56	4,46
Hlučnost	18,0	10	7,58	1,32	23,75	0,76	13,64
Celkem bodů	100						
Ukazatel jakosti vnímané zákazníkem					1,18		0,89
Míra spokojenosti zákazníka s jakostí		8,48	7,52				

Příloha 13. Porovnání znaků jakosti firmy Edwards s firmou Welch

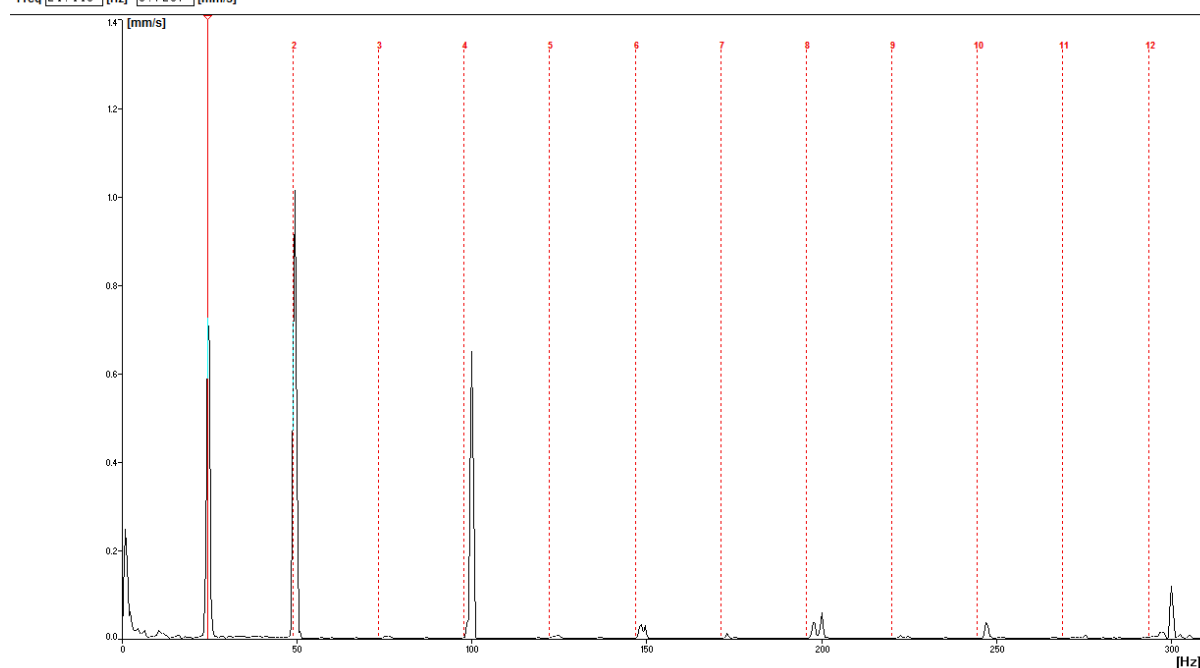
Atribut ceny (1)	Váha atributu (2)	Náš produkt (3)	Produkt konkurence (4)	Poměr (3)/(4) (5)
Cena	42,0	7,83	5,75	1,36
očekávané náklady vzhledem k dalšímu provozu (servis, atd)	58,0	9	7	1,29
Celkem bodů	100			
Míra spokojenosti zákazníků s cenou		8,5086	6,475	
Ukazatel míry cenové konkurenční schopnosti	1,31			
Ukazatel relativní úrovně ceny	0,76			

Příloha 14. Porovnání atributu ceny firmy Edwards s firmou Welch

Vibrační spektra z měření vývěvy, která měla nejhorší hodnoty vibrací (mm/s).

VSB\ANALYZATOR\EDW-RV-SPAT3_USTAV\spektrum k:1 B:1-1600Hz L:320

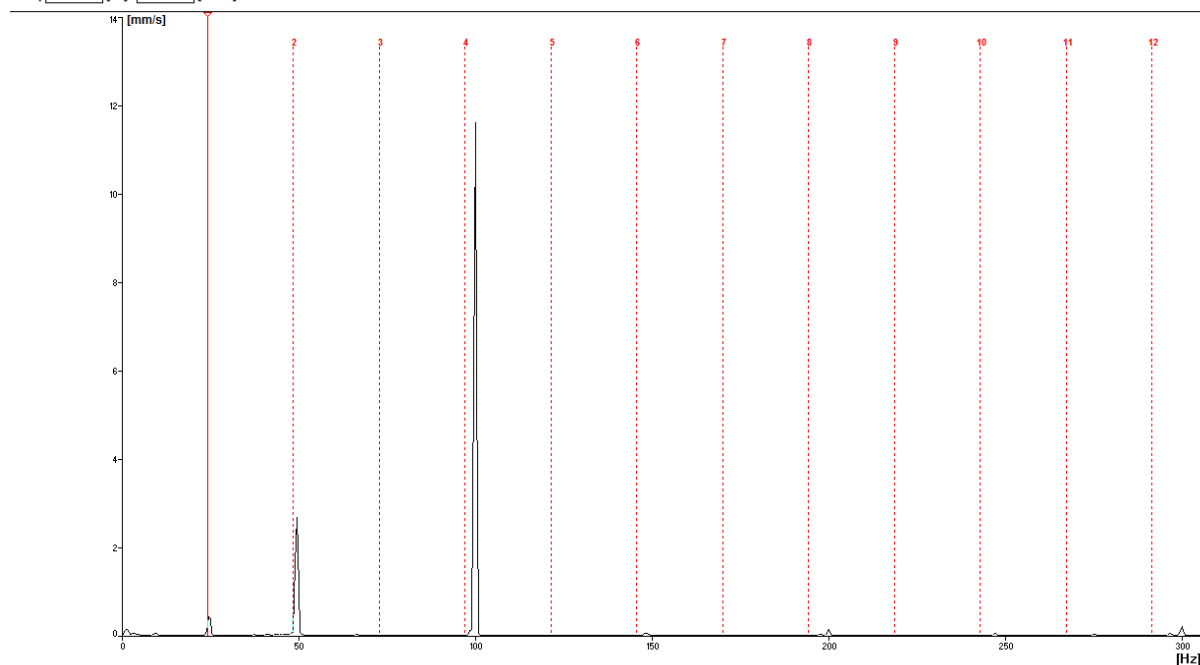
Freq [24.448] [Hz] [0.7257] [mm/s]



Příloha 15. Frekvenční spektrum měřené v axiálním směru špatné vývěvy

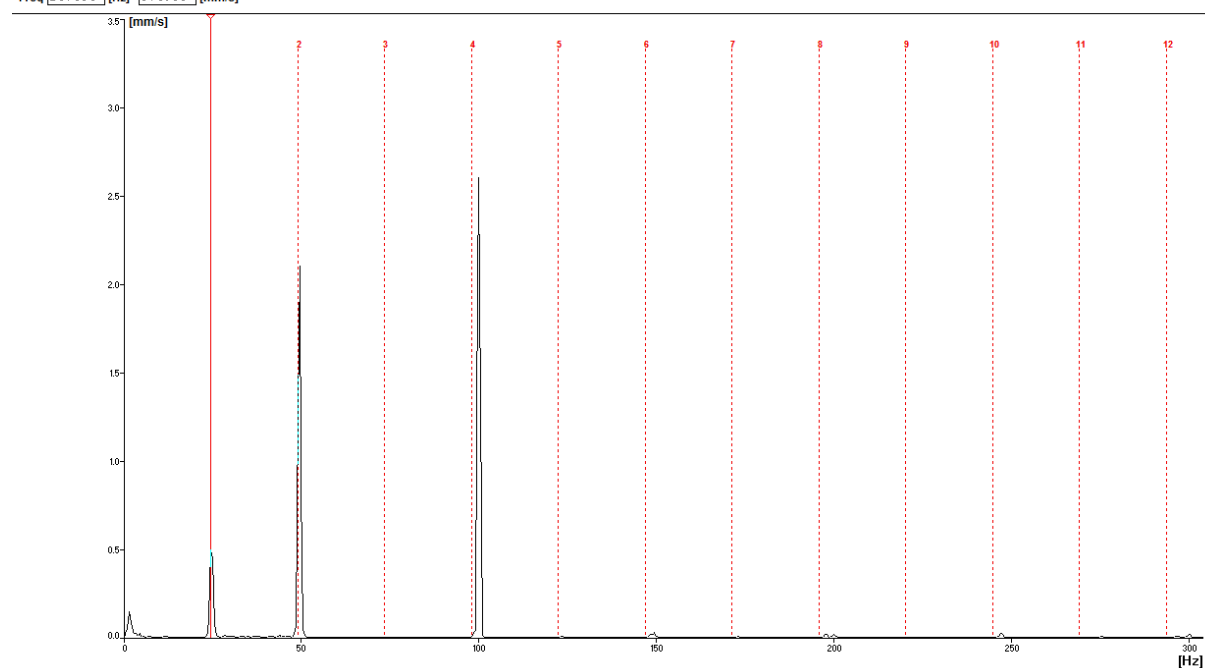
VSB\ANALYZATOR\EDW-RV-SPAT3_USTAV\spektrum k:2 B:1-1600Hz L:320

Freq [24.304] [Hz] [0.4231] [mm/s]



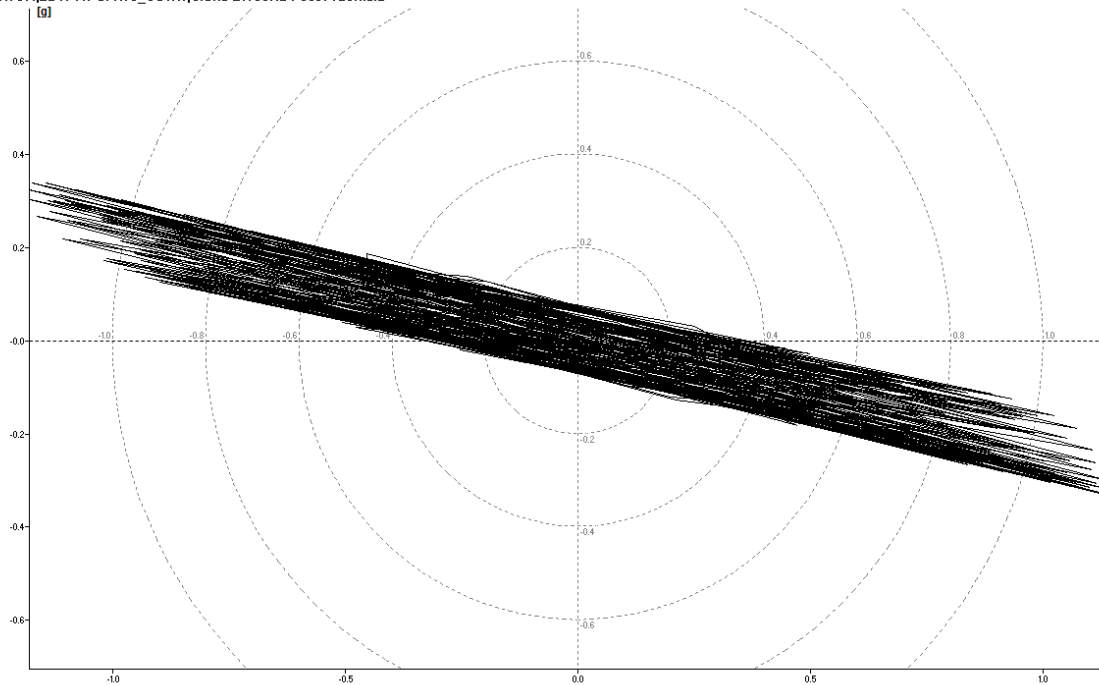
Příloha 16. Frekvenční spektrum měřené v horizontálním směru špatné vývěvy

VSBANALYZATOR\EDW-RV-SPAT3_USTAV\spektrum k:3 B:1-1600Hz L:320
Freq 24.464 [Hz] 0.4966 [mm/s]



Příloha 17. Frekvenční spektrum měřené ve vertikálním směru špatné vývěvy

VSBANALYZATOR\EDW-RV-SPAT3_USTAV\orbita B:100Hz Počet vzorků:2



Příloha 18. Orbita pohybu středu hřídele vývěvy